УДК: 539.3

Н.М. Якупов – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией
E-mail: YZSRR@kfti.knc.ru
Лаборатория нелинейной механики оболочек Института механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук

НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА ОБОЛОЧЕК: ИСТОРИЯ, ОСНОВАТЕЛИ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ.

К 110-летию Х.М. Муштари, 100-летию К.З. Галимова, 90-летию М.С. Корнишина

АННОТАЦИЯ

Фрагменты рождения оболочек и нелинейной теории оболочек. Информация об основателях нелинейной теории оболочек. Некоторые направления развития.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оболочки, тонкостенные конструкции, Х.М. Муштари, К.З. Галимов, М.С. Корнишин.

N.M. Yakupov – doctor of the technical sciences, professor, chief laboratory
Laboratory Nonlinear Mechanics of Shell Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences

THE NONLINEAR MECHANICS OF SHELLS: HISTORY, FOUNDERS, DEVELOPMENT DIRECTIONS.

To Kh.M. Mushtari's 110 anniversary, K.Z. Galimov's 100 anniversary, M.S. Kornishin's 90 anniversary

ABSTRACT

Fragments of a birth of covers and the nonlinear theory of covers. The information on founders of the nonlinear theory of covers. Some directions of development.

KEYWORDS: shells, thin-walled construction, Kh.M. Mushtari, K.Z. Galimov, M.S. Kornishin.

1. Улица Муштари. Одна из красивейших улиц Казани носит имя Муштари (рис. 1). Кто же такой Муштари? Чем он прославился? За какие заслуги его имя так возвеличили?

Рис. 1. Улица Муштари

Мы постараемся кратко ответить на эти и другие вопросы, связанные с деятельностью Х.М. Муштари, его соратников и последователей, а также расскажем о некоторых направлениях развития его идей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Оболочки, оболочечные конструкции, тонкостенные конструкции. Эти слова каждый из нас слышит с малых лет. Они уже привычны для нас. Мы с детства знакомы с природными оболочками – это и скорлупа яйца, это и орехи, это и ракушки, это и корпус морских гребешков, это и панцирь черепахи, это и убежище улитки, это и стебель колоса злаков и т.д. (рис. 2). Эти природные конструкции, предназначенные для выполнения определенных функций, очень прочны и относительно легки.

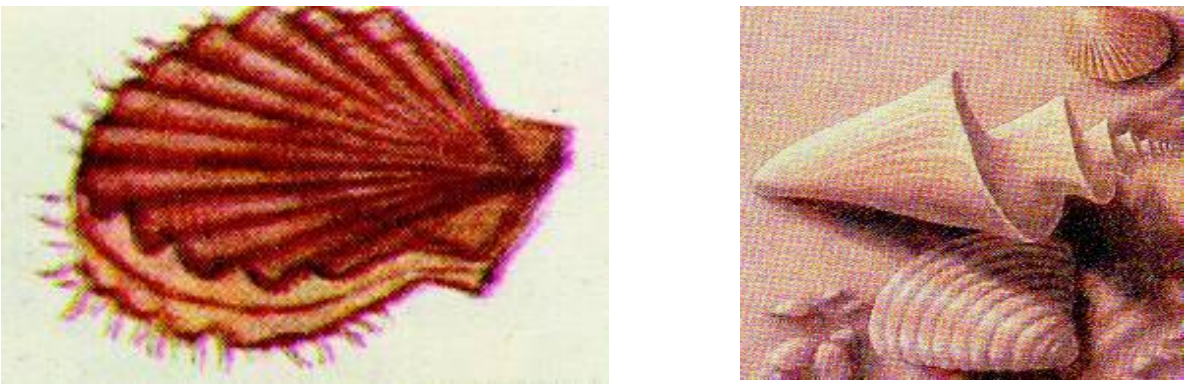


Рис. 2. Природные оболочки

3. Рукотворные оболочки, тонкостенные конструкции. Если земные природные конструкции появились сотни тысяч лет назад, то история рукотворных тонкостенных конструкций очень коротка. Тонкостенные конструкции, сочетающие в себе легкость с высокой прочностью, начали находить широкое применение в строительстве и машиностроении буквально в XIX-XX веках нашей эры. Это покрытия зданий и сооружений, корпуса летательных аппаратов и судов, резервуары и трубопроводы (рис. 3).

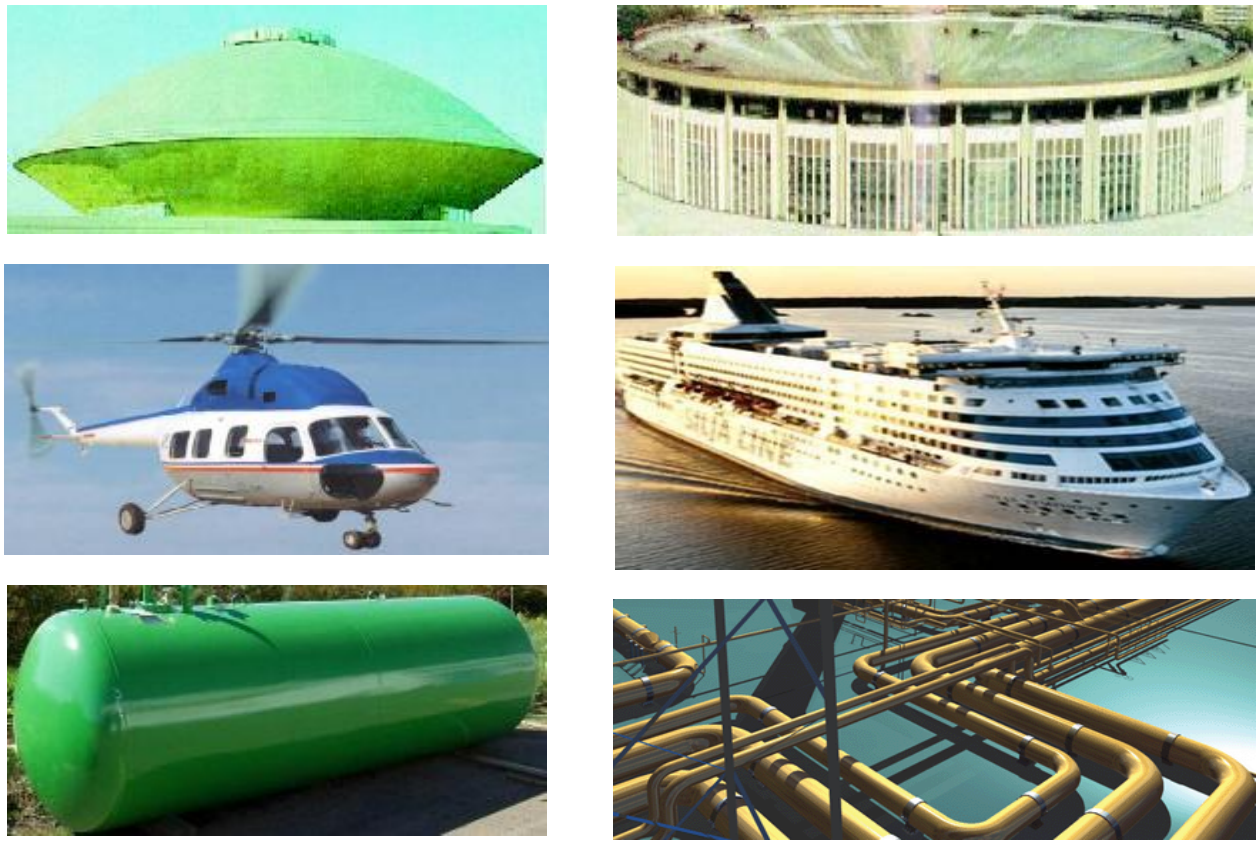


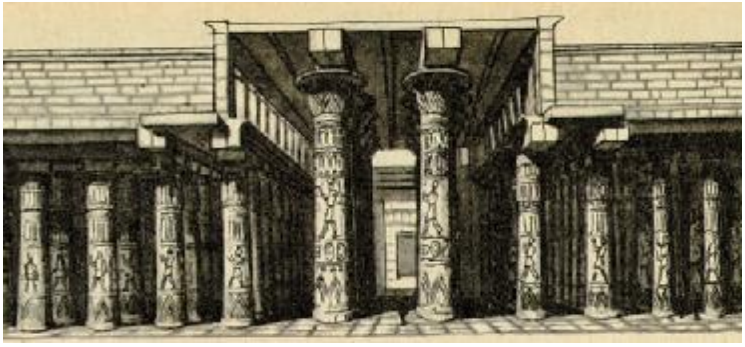
Рис. 3. Рукотворные оболочки

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Из истории рождения оболочек. Путь человечества к современным тонкостенным конструкциям был непростым. Фрагменты из истории рождения строительных конструкций отражены, в частности, в книгах [1-2].

В Древнем Египте сооружали грандиозные каменные пирамиды и массивные храмы (рис. 4 а, б). Древние греки прославились строительством великолепных храмов (рис. 4 в). Они, как и древние египтяне, имели представление об арках и сводах.

а)



б)

в)

Рис. 4. Рукотворные оболочки

Однако эти конструкционные элементы получили широкое распространение лишь в Древнем Риме, чему способствовало изобретение бетона. «Симфониями» из арок являются акведуки (рис. 5) и Колизей. Применение арочных структур было началом использования пространственных искривленных конструкций в строительном деле, когда для обеспечения прочности впервые «запрягли» форму поверхности.

В Древнем Риме был сделан большой скачок в строительном деле – появились первые крупные каменные полусферические купола – первые оболочки из камня. Ярким примером каменного купола стало одно из величественных зданий Рима – Пантеон (рис. 6), который до XIX века нашей эры был непревзойденным примером большого пространственного покрытия.

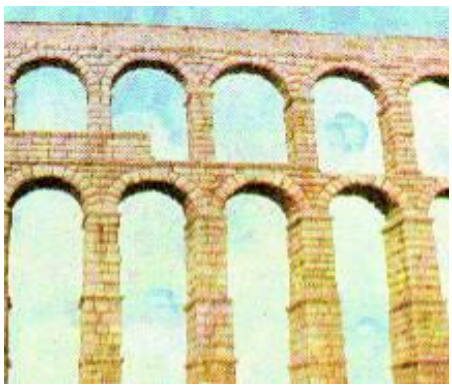


Рис. 5. Римские акведуки

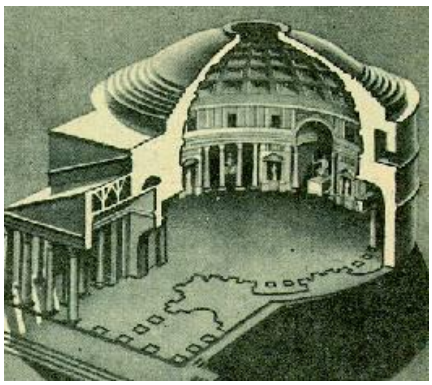


Рис. 6. Римский пантеон (макет)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В архитектуре исламских стран, наряду с полусферическими куполами, широкое распространение получили пологие купола, появились арки с заостренным контуром. Новые формы имели большую выразительность и выгодно отличались в прочностном отношении. Начиная с XII века, начали строить двухслойные купола, между которыми размещали деревянные элементы связи. За счет этого прочность конструкций значительно повышалась. Появились и купола с различной гофрировкой по окружной координате, что значительно упрочняло конструкцию купола в целом (рис. 7).

Рис. 7. Арки с заостренным контуром и купола

Архитекторы эпохи Возрождения, используя колоннады, арочные галереи, своды и купола, придали своим постройкам величественность и гармоничность. Затем пришел стиль барокко, рококо и классицизм (рис. 8). Произошел возврат к античным строительным конструктивным элементам на новом уровне, их сочетание и противопоставление, а также вариация конструктивных элементов из различных эпох и стилей.

Рис. 8. Купола эпохи Возрождения

Крупный скачок в строительном деле был сделан в середине XIX века. Здесь революционную роль сыграл железобетон. Относительная толщина покрытий значительно снизилась. Следующим шагом было использование металлических покрытий (рис. 9). Они выгодно отличаются относительной легкостью, удобством сборки и позволяют реализовать сложные формы. К металлическим покрытиям относятся и мембранные покрытия. Если сравнить тонколистовое мембранное покрытие с пространственным железобетонным покрытием, то эффект очевиден – достигается выигрыш в массе на порядок.

Рис. 9. Металлические покрытия

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5. Рождение нелинейной теории оболочек. В связи с запросами практики в начале XX века были заложены основы теории пластин и оболочек. Были сформулированы простейшие геометрические и физические соотношения и получены уравнения равновесия. Это так называемая линейная теория оболочек. Несмотря на использование простейших соотношений, уравнения теории оболочек были сложными и громоздкими. Однако простейшие соотношения, заложенные в линейной теории оболочек, не могли дать ответ на многие вопросы практики. Диалектика развития подсказывала необходимость использования более точных геометрических и физических соотношений. Поэтому естественным направлением развития стала нелинейная теория оболочек: теория оболочек, в которой учитываются нелинейные компоненты в геометрических соотношениях (соотношения между деформациями и компонентами перемещений) и физических соотношениях (соотношения между напряжениями и деформациями). Разрешающие уравнения при этом многократно усложнялись и приводили в ужас человека, который впервые знакомился с ними. Для решения поставленных задач создавались различные научные лаборатории.

В 1946 году во вновь образовавшемся Физико-техническом институте Казанского филиала АН СССР для решения актуальных проблем механики тонкостенных конструкций и развития нелинейной механики тонкостенных конструкций был образован сектор механики, который возглавил профессор Хамид Музафарович Муштари. В апреле 1946 года решением Президиума АН СССР он назначается также директором Физико-технического института Казанского филиала АН СССР. В 1965 году сектор механики преобразуется в отдел теории оболочек (руководитель Х.М. Муштари), а одну из двух лабораторий отдела (лабораторию статики и динамики оболочек) возглавил М.С. Корнишин. В 1971 году лабораторию статики и динамики оболочек переименовывают в лабораторию нелинейной теории оболочек, которая впоследствии получила название лаборатории нелинейной механики оболочек. С 1988 года лабораторию нелинейной механики оболочек возглавляет Н.М. Якупов.

Первыми сотрудниками сектора механики были К.З. Галимов, Г.П. Цыбульский, С.Г. Винокуров, Р.Г. Суркин, несколько позже начали работать И.В. Свирский (1947 г.) и М.С. Корнишин (1951 г.). Наряду с теоретическими выполнялись и экспериментальные исследования. В 1952 году М.С. Корнишин стал руководителем экспериментальных работ по прочности и устойчивости оболочек. Первые экспериментальные исследования были выполнены М.С. Корнишиным, Ф.С. Исанбаевой, М.А. Ильгамовым и Р.Г. Суркиным. Небольшая информация об этом имеется, в частности, в книгах [3-7].

Профессор МУШТАРИ Хамид Музафарович родился 22 июля 1900 года в городе Оренбурге. В 1929 году успешно защитил кандидатскую диссертацию. В 1939-1940 гг. им были составлены сборники татарских терминов по физике и метеорологии.

В научных работах, выполненных в 1934-1938 годах, Х.М. Муштари заложил основы современной нелинейной теории тонких оболочек. Наиболее полно теория представлена в его известной докторской диссертации «Некоторые обобщения теории тонких оболочек с приложениями к задаче устойчивости упругого равновесия» [8], успешно защищенной им в 1938 году в Московском государственном университете.

С 1946 года до конца своей жизни Х.М. Муштари работал в Казанском физико-техническом институте КФ АН СССР, который он возглавлял более четверти века. Скончался Хамид Музафарович 23 января 1981 года.

Научные результаты, полученные Х.М. Муштари, вошли в золотой фонд науки. В течение ряда лет он возглавлял секцию теории оболочек Научного совета АН СССР по проблеме «Научные основы прочности и пластичности». Будучи крупным ученым, педагогом и организатором, Хамид Музафарович принимал активное участие в общественной жизни. Заслуги Х.М. Муштари отмечены орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета» и многочисленными медалями. Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В 1935-1960 годы под руководством профессора Х.М. Муштари была разработана общая нелинейная теория упругих оболочек – теория, в которой в качестве геометрических соотношений использовались уточненные нелинейные соотношения. Среди фундаментальных работ Х.М. Муштари (рис. 10) [8-11] особое место занимает написанный им совместно с К.З. Галимовым капитальный труд «Нелинейная теория упругих оболочек» [9]. Монография [9], переизданная за рубежом [10], стала настольной книгой для многих специалистов.

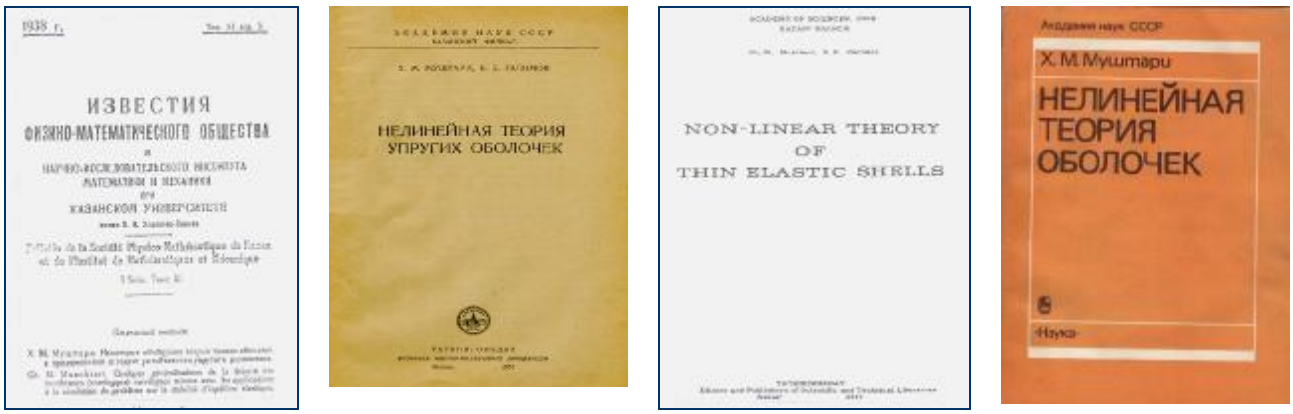


Рис. 10. Фундаментальные труды Х.М. Муштари

Профессор ГАЛИМОВ Курбан Закирович родился 31 декабря 1909 года в д. Сосмак Вятско-Полянского района Кировской области. Осенью 1930 года поступил в Казанский государственный университет. В 1939 году защитил кандидатскую диссертацию по теории пластичности. В 1958 году ему присуждена ученая степень доктора физико-математических наук. Итогом совместных исследований с Х.М. Муштари явилась монография «Нелинейная теория упругих оболочек» [9]. К.З. Галимов – автор монографии [12]. Организатор и редактор сборника «Исследования по теории пластин и оболочек». Награжден медалями «За доблестный труд во время Великой Отечественной войны 1941-1945 гг.» и «Ветеран труда». Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

6. Этапы развития:

6.1. Разработка методов расчета на базе нелинейной теории оболочек. Нелинейная теория упругих оболочек интенсивно развивалась. С 1960-1980 годов начался этап применения этой теории для непосредственного решения практических задач. Наряду с решением частных нелинейных задач, развивались методы расчета, рассматривались вопросы сходимости, в частности, в работах М.С. Корнишина и Ф.С. Исанбаевой [13-14].

Профессор КОРНИШИН Михаил Степанович родился 21 ноября 1920 г. в с. Турдаково Чувашской АССР. В 1951 году поступил на работу в сектор механики КФТИ КФ АН СССР. В 1954 году успешно защитил кандидатскую, а в 1963 году – докторскую диссертации в области нелинейной механики оболочек. Прошел путь от младшего научного сотрудника (1951 г.) до заведующего лабораторией (1965-1976 гг.), заведующего отделом теории оболочек (1976-1987 гг.) и главного научного сотрудника (1988-1991 гг.). Скончался М.С. Корнишин 28 апреля 1991 года.

Им опубликовано 4 монографии. В конце 1950-х годов для решения задач нелинейной механики оболочек М.С. Корнишин начал использовать электронно-цифровые вычислительные машины

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(ЭЦВМ). Заслуги М.С. Корнишина в научной и общественной деятельности отмечены медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», Орденом Трудового Красного Знамени и медалями. Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

Появились первые работы Х.М. Муштари, рассматривающие вопросы оптимизации пластин и оболочек. Развивались вариационные методы анализа деформации оболочек, например, в работах И.В. Свирского [15]. Открывались новые направления исследования оболочек. Проблемы динамического поведения оболочек, содержащих жидкость и газ, были рассмотрены М.А. Ильгамовым [16]. Некоторые вопросы изгиба и устойчивости тонких пластин и оболочек с учетом ползучести приведены в работах И.Г. Терегулова [17]. Поведение трехслойных оболочек было рассмотрено, в частности, в работах Х.М. Муштари, М.А. Ильгамова, Н.К. Галимова и др. [8-11, 18].

Особое влияние на развитие нелинейной теории оболочек оказало бурное вторжение электронно-вычислительных машин в вычислительные процессы. К 1980 годам были созданы численные методы и алгоритмы, которые позволяли решать задачи устойчивости, определять напряженно-деформированное состояние тонкостенных конструкций канонической геометрии.

6.2. Разработка методов расчета оболочек сложной геометрии. Среди тонкостенных конструкций особенно эффективными по своим характеристикам являются оболочки сложной геометрии. В этом отношении особое значение приобретает форма конструкции. Известный испанский архитектор Эдуардо Торроха о значении формы конструкции для обеспечения необходимой жесткости и прочности отмечал: "***Лучшим сооружением является то, надежность которого обеспечивается главным образом за счет его формы, а не за счет прочности его материала***". Современные конструкции, как строительные, так машиностроительные, могут иметь самые разнообразные геометрические формы и структуру (рис. 11). Возникла необходимость разработки методов расчета оболочек сложной геометрии. Для решения проблемы пытались развивать различные подходы: например, метод конечных элементов (МКЭ) [19], подход предварительной параметризации, развитый, в частности, М.С. Корнишиным, В.Н. Паймушиным, В.Ф. Снигиревым [20].

Рис. 11. Покрытия сложной геометрии

Эффективным оказался сплайновый вариант метода конечных элементов, в котором используется синтез идей предварительной параметризации срединной поверхности оболочек сложной геометрии (рис. 12) и МКЭ [21-27].

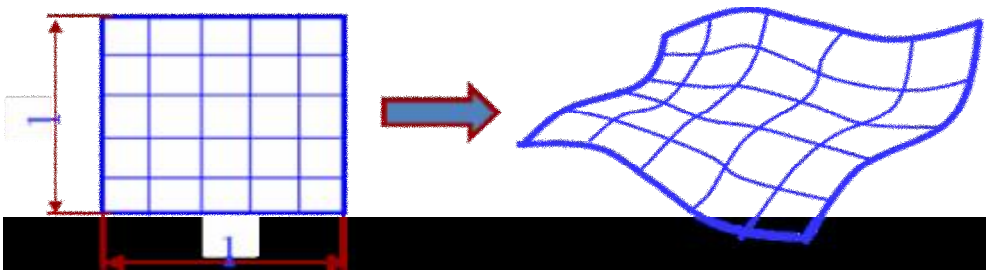


Рис. 12. Покрытия сложной геометрии

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сплайновый вариант метода конечных элементов реализован в виде комплекса программ для ЭВМ и был использован для анализа напряженно-деформированного состояния ряда конструкций из практики [26, 28-39]. Некоторые разработки из этого цикла отмечены в Отчетах РАН в 1999, 2001, 2002, 2004 годах, а также награждены медалями и дипломами Международных салонов и форумов:

- Серебряной медалью и Дипломом на 53-ем Всемирном Салоне инноваций, научных исследований и новых технологий "Брюссель-Эврика-2004", Брюссель (Бельгия);
- Серебряной медалью и Дипломом на 33-ом Международном Салоне изобретений, новой техники и изделий «Женева-2005», 2005 г., Женева (Швейцария);
- Медалью и Дипломом на Шестом Международном форуме “Высокие технологии XXI века” – «ВТ XXI-2005», 2005 г., Москва;
- Серебряной медалью и Дипломом на 12-ом Московском международном Салоне промышленной собственности "Архимед", 2009 г., Москва;
- Серебряной медалью и Дипломом II степени на XVI Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech), 2010 г., г. Санкт-Петербург.

6.3. Применение соотношений нелинейной теории оболочек для определения механических характеристик пленок и мембран. Среди тонкостенных конструкций особо выделяются пленочные и мембранные конструкции [40, 41]. Они находят широкое применение во всех отраслях производства и жизнедеятельности. Область применения мембранных конструкций постоянно расширяется.

Рис. 13. Пленочные конструкции

Современные достижения науки и техники дают реальную возможность получения и производства материалов со сложной структурой материала. Возникает проблема определения физико-механических свойств пленочных композиций сложной структуры и с неплоской исходной геометрией.

Стандартный способ испытания на растяжение неприменим [42]. В связи с этим разработан экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик таких композиционных структур [40, 43-55]. При этом используются нелинейные соотношения теории оболочек и теории пластичности, получаемые из нелинейной теории оболочек, разработанной школой Х.М. Муштари.

Рис. 14. Примеры пленок со сложной структурой

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Разработки по исследованию механических характеристик пленок и мембран выполняются в рамках программ Президиума РАН и Отделения ЭММПУ РАН (координаторы программ: академик РАН Морозов Н.Ф. и академик РАН Горячева И.Г.). Руководитель проектов – Н.М. Якупов (автор статьи).

Полученные результаты в составе комплексной разработки были отмечены в Отчете РАН за 2006 год: «*Разработан экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик пленок и мембран при двухосном нагружении…* (ИММ КазНЦ РАН)», награждены ***Серебряной медалью и Дипломом Всемирного Салона "Женева-2007"***. Высокий уровень разработки отмечен также Дипломом Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якупов Н.М., Галимов Ш.К., Хисматуллин Н.И. От каменных глыб к тонкостенным конструкциям. – Казань: Изд-во “SOS”, 2001. – 96 с.
2. Якупов Н.М. Строительные конструкции: этапы и перспективы развития. Учебное пособие / Под ред. проф. Сучкова В.Н. – Казань: КазГАСУ, 2006. – 154 с.
3. Якупов Н.М. О некоторых работах по расчету оболочек сложной геометрии // Исследования по теории оболочек: Труды семинара. Вып. 25. КФТИ КФАН СССР, 1990. – С. 43-55.
4. Ганеева М.С., Якупов Н.М. Исследования по теории пластин и оболочек в КФТИ – ИММ КНЦ РАН (1946-1995) // Обзоры исследований по механике сплошной среды. К 50-летию КНЦ РАН. – Казань: КНЦ РАН, 1995. – С. 7-46.
5. Ильгамов М.А. Профессор Х.М. Муштари. – М.: Наука, 2001. – 192 с.
6. Якупов Н.М. Лаборатория нелинейной механики оболочек: история и разработки последних лет. ИММ КазНЦ РАН. – Казань: Изд-во КГУ, 2006. – 98 с.
7. Ильгамов М.А. Портреты современников. – М.: Физматлит, 2009. – 276 с.
8. Муштари Х.М. Некоторые обобщения теории тонких оболочек с приложениями к задаче устойчивости упругого равновесия // Изв. Физ.-мат. общества и НИИ математики и механики при Казанском ун-те. Сер. 3. 1938. Т. 11. – С. 71-150.
9. Муштари Х.М., Галимов К.З. Нелинейная теория упругих оболочек. – Казань: Таткнигоиздат, 1957. – 431 с.
10. Mushtari Kh.M., Galimov K.Z. Non-linear Theory of thin elastic Shells. Academy of Sciences, USSR Kazan Branch Tatknigoizdat. Editors and Publishers and Technical Literature. – Kazan, 1957.
11. Муштари Х.М. Нелинейная теория оболочек. – М.: Наука, 1990. – 223 с.
12. Галимов К.З. Основы нелинейной теории тонких оболочек. – Казань: Изд-во КГУ, 1975.
13. Корнишин М.С. Нелинейные задачи теории пластин и пологих оболочек и методы их решения. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
14. Корнишин М.С., Исанбаева Ф.С. Гибкие пластины и панели. – М.: Наука, 1968. – 260 с.
15. Свирский И.В. Методы типа Бубнова-Галеркина и последовательных приближений. – М.: Наука, 1968.
16. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. – М.: Наука, 1969.
17. Терегулов И.Г. Изгиб и устойчивость тонких пластин и оболочек при ползучести. – М.: Наука, 1969.
18. Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.В. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим заполнителем. – М.: Наука, 1977. – 331 с.
19. Голованов А.И., Корнишин М.С. Введение в метод конечных элементов статики тонких оболочек. – Казань: КФТИ, 1989.
20. Корнишин М.С., Паймушин В.Н., Снигирев В.Ф. Вычислительная геометрия в задачах механики оболочек. – М.: Наука, 1989.
21. Якупов Н.М. Об одном методе расчета оболочек сложной геометрии // Исследования по теории оболочек. Труды семинара. – Казань: КФТИ КФАН СССР, 1984. Вып. 17. Ч. II. – С. 4-17.
22. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета оболочек сложной геометрии // Прикладная механика, 1987, Т. 23, № 3. – С. 38-44.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

23. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант МКЭ в сферических координатах // Прикладные проблемы прочности и пластичности, 1988. – С. 74-80.
24. Корнишин М.С., Якупов Н.М. К расчету оболочек сложной геометрии в цилиндрических координатах на основе сплайнового варианта МКЭ // Прикладная механика, 1989, Т. 25, № 8. – С. 53-60.
25. Якупов Н.М., Серазутдинов М.Н. Расчет упругих тонкостенных конструкций сложной геометрии. – Казань: ИММ КазНЦ РАН, 1993. – 206 с.
26. Якупов Н.М. Прикладные задачи механики упругих тонкостенных конструкций. – Казань: ИММ КНЦ РАН, 1994. – 124 с.
27. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Методы и подходы исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Строительство. Известия вузов, 2002, № 8 (524). – С. 14-18.
28. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Метод исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Актуальные проблемы механики сплошной среды. – Казань: ИММ КазНЦ РАН, 2001. – С.147-158.
29. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш. Метод исследования НДС тонкостенных конструкций сложной геометрии // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2001, вып. 8-9. – С. 32-37.
30. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Метод исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Вестник РУДН. Инженерные исследования, 2002, вып. 1. – С. 27-31.
31. Низамов Х.Н., Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Прогнозирование и предупреждение коррозионного разрушения конструкций. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 355 с.
32. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Киямов И.Х., Якупов С.Н. Расчет напряженно-деформированного состояния элементов оболочек сплайновым вариантом метода конечных элементов // Известия КазГАСУ, 2007, № 1(7). – С. 35-42.
33. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2006. – С. 160-161.
34. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант МКЭ в сферических координатах // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Всесоюзный межвузовский сборник,1988.
35. Якупов Н.М., Сагадеев Р.Г. Расчет лопатки компрессорного колеса // Труды семинара. Вып. 21. – Казань, Горький, 1988.
36. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Параметризация и расчет оболочек сложной геометрии // Матем. моделиров., методы решения и оптимальное проектир. гибких пластин и оболочек. Межвуз. науч. сб. Саратовского ун-та, 1988.
37. Yakupov N.M. The structures elements under the effect of the Temperature field // Research in hypersonic flows and hypersonic technologies, TsAGI, 1994.
38. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Киямов И.Х., Мифтахутдинов И.Х. Способ параметризации поверхностей сложной геометрии // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-20. Сборник трудов. Том 4. Секция 5. – Ярославль: Изд-во Ярославского гос. технического университета, 2007. – С. 21-24.
39. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н., Мифтахутдинов И.Х., Киямов Х.Г. Экспериментальный способ параметризации минимальных поверхностей со сложным контуром: Патент на изобретение РФ № 2374697. Опубл. 27.02.2009.
40. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Методы расчета пленочных элементов конструкций: Учебное пособие. – Казань: КазГАСУ, 2007. – 117 с.
41. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Пленки неоднородной структуры // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2009, № 1. – С. 60-70.
42. Куприянов В.Н. Пленочно-тканевые материалы для строительных конструкций. – Казань: КИСИ, 1989. – 94 с.
43. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Галимов Н.К., Галявиев Ш.Ш. Способ определения прочностных свойств пленочных материалов: Патент РФ № 2184361 на изобретение.
44. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов: Патент РФ № 2310184 на изобретение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

45. Якупов Н.М., Куприянов В.Н., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тончайших пленок и нанопленок и устройство для его осуществления. Заявка на патент № 2007149083 / 28.
46. Якупов Н.М., Галимов Н.К., Леонтьев А.А. Экспериментально-теоретический метод исследования прочности полимерных пленок // Механика композиционных материалов и конструкций, 2000, т. 6, № 2. – С. 238-243.
47. Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2006. – С. 160-161.
48. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Состояние конструкций градирен и предотвращение их разрушения // Проблемы энергетики, 2006, № 7-8. – С. 36-42.
49. Якупов Н. М., Куприянов В.Н., Якупов С.Н. К исследованию механических характеристик пленок и пленочных структур // Известия КазГАСУ, 2008, № 1(9). – С. 106-112.
50. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытаний пленок и мембран в условиях равномерно распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008, т. 74, № 11. – С. 54-56.
51. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Методология исследования механических характеристик тонких пленок и нанопленок // Вестник машиностроения, 2009, № 6. – С. 44-47.
52. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Определение механических характеристик пленок с порами, нановключениями и нанопокрытиями // Сборник тезисов докладов участников Второго Международного форума по нанотехнологиям. – М.: РОСНАНО, 2009. – С. 427-429.
53. Якупов С.Н. Способ определения механических характеристик тонких покрытий в системе «покрытие – подложка» // Сборник тезисов докладов участников Второго Международного конкурса научных работ молодых ученых в области нанотехнологий. – М.: РОСНАНО, 2009. – С. 488-489.
54. Yakupov N.M., Yakupov S.N. Definition of mechanical characteristics of films with the pores, nanoinclusions and nanocoatings // Abstracts. The second Nanotechnology International Forum. – M.: Rusnanotech, 2009. – P. 344-346.
55. Yakupov S.N. Way of definition of mechanical characteristics of thin coverings in system «the covering – the substrate» // Abstracts. The second International Competition of Scientific Papers in Nanotechnology for Young Researchers. – M.: Rusnanotech, 2009. – P. 439-440.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 378.4(4/5)
М.Г. Зейферт – кандидат архитектуры, доцент
А.М. Сагатдинова – аспирант
E-mail: zeyfert@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВЫХ УНИВЕРСИТЕТОВ В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ И РОССИИ

АННОТАЦИЯ

Появление университетов в Западной Европе и России связано с ростом городов, налаживанием международных торговых связей и необходимостью грамотных специалистов. Наиболее благоприятной страной для формирования высших учебных заведений стала Италия, где в 1158 году был создан первый университет. Отличительной особенностью первых университетов стало сохранение традиций в образовании, культуре, отношении к университетским зданиям и ансамблям, являющимся памятниками архитектуры. В статье выявлены особенности планировочных структур первых университетов и определены первоначальные системы образования в России и за рубежом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: формирование, университеты, первые, архитектура, Западная Европа, Россия.

M.G. Zeyfert – candidate of the architectural, associate professor
A.M. Sagatdinova – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering

TENDENCIES OF ARCHITECTURAL FORMATION OF THE FIRST UNIVERSITIES IN THE WESTERN EUROPE AND RUSSIA

ABSTRACT

Occurrence of universities in the Western Europe and Russia is connected with growth of cities, adjustment of the international commercial relations and necessity for competent experts. Italy where in 1158 the first university has been created became the optimum country for formation of higher educational institutions. Preservation of traditions in formation, culture, the relation to university buildings and the ensembles which are monuments of architecture became distinctive feature of the first universities. In article features lay-outs structures of the first universities are revealed and initial education systems in Russia and abroad are defined.

KEYWORDS: formation, universities, the first, architecture, western Europe, Russia.

Любая система образования исторична, она весьма и весьма тесно связана с эволюцией общества. Определенной стадии развития каждого общества, как правило, соответствует и определенная система образования и воспитания. В каждом обществе существует свой механизм получения образования. Так, средние века в нашем сознании ассоциируются, прежде всего, с тремя институтами – Церковью, Империей и Университетом. Для каждой эпохи здания высших учебных заведений являются одним из важнейших типов общественных зданий, имеющих большое градостроительное и социокультурное значение. На формирование комплексов вузов влияют многие факторы, в частности, совершенствование учебно-научного процесса, усиление взаимосвязи учебного процесса с производством и наукой. Для архитектурного формирования современных зданий и комплексов необходимо знать историю возникновения высших учебных заведений.

Цель данного исследования – выявление особенностей функциональной и архитектурно-планировочной организации первых университетов и академий. Хронологические границы исследования включают первый этап формирования университетов в Западной Европе XI-XIII вв., в России XVII – начала XIX вв. Новизной исследования является выявление взаимосвязи и особенностей исторического развития системы образования и архитектурно-планировочной структуры университетов в Западной Европе и России.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Появление университетов на территории Западной Европы, так же, как и формирование средневековых городов, связано с крестовыми походами и международными ярмарками. Крестовые походы начались в 1096 г. Вслед за войсками крестоносцев, купцы налаживали международные торговые отношения, начался бурный рост городов, что повлекло за собой необходимость грамотных специалистов.

Европейские университеты с начала своего возникновения на базе монастырей в XII-XIII вв. стали играть важную и значительную роль по интеллектуальному и нравственному совершенствованию общества. Наиболее благоприятной страной для становления и развития образовательных учреждений стала Италия. Отличие Италии от других стран Европы в XI-XII вв. – раннее развитие ремесел и торговли, образование городов-государств, ставших первыми очагами средневековой культуры. Бурные темпы формирования итальянских городов, яркая общественная жизнь городских коммун, появление светских тенденций в различных областях культуры нашли отражение в характере и типологии зданий. Необходимо отметить, что события XI-XII вв. являются первым этапом на пути формирования нового типа образовательного учреждения как самостоятельной организации.

Первые университеты, появившиеся в Италии, были преобразованы из специализированных школ и носили гуманитарный характер. Образовательные учреждения средневековья управлялись самими студентами, которые нанимали преподавателей, находили помещения и избирали из своего числа ректора. Первое подобное учреждение появилось в 1080 году в Болонье (рис. 1 б). В 1158 г. юридическая школа в Болонье стала именоваться университетом (от лат. universitas – «общность»). В других европейских странах университеты возникали позднее. В 1209 г. образовались университеты Оксфорда и Кембриджа. В 1215 г. в Париже основан университет Сорбонны, названный в честь своего основателя монаха-доминиканца Роберта де Сорбонна (рис. 1 в). В 1218 г. Король Испании Леон Альфонс IX объединил в единое образовательное учреждение все школы Саламанки, занимавшиеся изучением теологии, права и медицины, а в 1255 г. глава католической церкви Александр IV объявил данное учреждение университетом. Таким образом, в начале XIII в. сформировалось пять первых университетов, ставших патриархами высшего образования в Европе [4].

Отделения средневековых университетов стали называться факультетами (от лат. facultas – «способность»). Данный термин предложил папа римский Григорий IX. Первоначально все университеты включали в себя четыре факультета: артистический, богословский, юридический и медицинский.

К началу XVI в. на территории Европы действовали 76 высших учебных заведений, они отличались друг от друга размерами и специализацией. Были деревенские университеты, где обучались сотни юношей, в столичных же университетах учились по несколько тысяч студентов. Так, в Болонском университете число учащихся доходило до 10 тысяч человек, в Париже и Саламанке до 7 тысяч.

Система обучения в университетах (лат. Estudios generales) утверждалась Папой и включала два этапа. Первая ступень обучения посвящалась искусствам и основным наукам, на второй ступени студенты распределялись по факультетам, после окончания которых предусматривалось повышение квалификации. Труды университетских профессоров переводились на многие языки, были налажены научные связи и обмен знаниями между университетами.

Первые, ведущие свою историю с XII в., университеты на протяжении веков бережно сохраняли не только традиции в образовании и культуре поведения, но и традиции в отношении к памятникам архитектуры. В архитектурном ансамбле Саламанского университета все помещения сгруппированы вокруг большого центрального двора и соединяются между собой внутренними коридорами и галереей, окружающей двор (рис. 1 а). Главный фасад выходит на соборную площадь. На фоне стены из грубо отесанных камней выделяется ризалит, акцентирующий главный вход в университет. Система пилястр и горизонтальных членений образует каркас, заполненный орнаментальной резьбой – ретабло. Мелкий рельеф нижней части ризалита постепенно переходит к более крупному и разреженному орнаменту верхней части [1, с. 406-407].

Планировочная структура Оксфорда и Кембриджа сохранила схему, существующую здесь еще со времен античных поселений. Две главные улицы Оксфорда, Хай-стрит и Броад-стрит, подобно римским античным улицам кардо и декуманус, пересекаются под прямым углом. На пересечении этих улиц располагается самый роскошный Модлен-колледж с башней Карфакс, являющейся символом города. К этим основным улицам примыкают площади и колледжи. Объемно-планировочное решение колледжей Оксфорда организовано по единому принципу: с улицы главный вход акцентирован большой и глубокой аркой, над которой в некоторых случаях возвышается башня. За башней размещается главный двор, который окружают жилые комнаты студентов, зал для собраний и лекций, а также часовня. Как правило, в структуру колледжа входят несколько прямоугольных дворов, также окруженных зданиями. Это библиотеки, столовые, кухни, общие комнаты и т.д.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

а)

б)

в)

г)

д)

е)

Рис. 1. Университеты Западной Европы: а – Саламанский университет; б – Болонский университет; в – Парижский университет; г, д – Оксфордский университет; е – Кембриджский университет

В архитектурных ансамблях Оксфордского и Кембриджского университетов можно найти все разновидности английской готики. Часть зданий построена в раннеанглийском стиле с массивными стенами, часть в стиле декоративной готики с тонкой каменной резьбой, роскошной орнаментикой, изобилием архитектурного декора (рис. 1 г, д, е). Присутствует также перпендикулярный готический стиль, свойственный только Англии. Его отличительной чертой являются огромные окна, четкие вертикальные и горизонтальные линии, пышное убранство потолков. Сэр Кристофер Рен (1632-1723 гг.), главный архитектор короля, решил, что для поддержания целостности и гармонии архитектурного ансамбля Оксфорда вся последующая застройка должна производиться в том же «древнем» духе.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Единственным исключением из правила стала грандиозная барочная ротонда – Радклифф-камера с великолепным ордером и куполом, построенная по проекту Джеймса Гиббса для читального зала Бодлианской университетской библиотеки, насчитывающей в настоящее время более 2 миллионов томов (рис. 1). По проектам Кристофера Рена в университетских городах Англии построено несколько зданий, к ним относятся: Шелдонский театр – прообразом, которого послужил театр Марцелла в Риме и Куинс-колледж в Оксфорде, а также библиотека Тринити-колледжа в Кембридже. XIX столетие и начало XX века – время расцвета викторианского стиля, нашедшего свое воплощение в неоготике, архитектура вновь строящихся университетских зданий представляла собой интерпретацию средневековых форм [1, с. 469-471].

а)

б)

в)

г)

д)

е)

ж)

Рис. 2. Университеты России: а, б, в – Киево-могилянская академия; г, д – Славяно-греко-латинская академия; е – Академия художеств в Санкт-Петербурге; ж – Московский университет на Моховой

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сформировавшееся градостроительное и архитектурно-планировочное решение европейского университетского городка становится прообразом для более поздних университетов Европы. Так, в XIII-XV вв. создан ряд крупных университетских комплексов: университет в Монпелье, Падуанский, Неаполитанский, Орлеанский, Тулузский, Краковский, Венский, Гейдельбергский, Лейпцигский университеты.

В России первыми высшими учебными заведениями были: Киево-Могилянская академия (1632 г.), Славяно-греко-латинская академия в Москве (1687 г.), Университет в Москве (1786-1793 гг.), Академия художеств (1764-1788 гг.), Казанский императорский университет (1804 г.).

Начиная с конца XVI века, в России, Украине и Белоруссии стали появляться духовные школы и коллегии. Примерно в это время в Киево-Печерском монастыре был создан кружек Киевского Богоявленского братства. В 1615 году на основе кружка была создана Киевская братская школа, на базе которой в дальнейшем была образована Киево-могилянская академия, которая первоначально называлась коллегией (рис. 2 а). Названо учебное заведение по имени культурного и религиозного деятеля киевского митрополита Петра Могилы – основателя коллегии.

Академия стала одним из крупнейших научно-учебных центров. Общее количество студентов в 1742 году составляло 1234 человек. Здесь обучались не только украинцы, русские и белорусы, но и жители других стран. Преподавали в академии ученые, получившие образование в лучших университетах Европы. Две трети студентов получали в академии сугубо светское образование. Общий срок обучения достигал 12-14 лет. В 1819 году академия из светского учебного заведения была преобразована в Духовную академию, а в 1918 году была закрыта большевиками и открыта вновь только в 1989 году.

Первым высшим учебным заведением в России была Славяно-греко-латинская академия, именно в ней получил образование, подобное западноевропейскому, великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов. Академия была образована при Заиконоспасском монастыре в центре Москвы на Никольской улице (рис. 2 б). К 1626 году в состав монастыря входили две церкви, каменная и деревянная, и ряд деревянных келий. В 1661 году появляется каменный собор, нижняя часть которого сохранилась до наших дней. Издавна монастыри в России играли роль образовательных центров, при них размещались школы и библиотеки, здесь писались иконы и книги. Датой образования Заиконоспасской монастырской общенародной школы стал 1630 год, с этого времени монастырь начал называться «учительским». С 1663 года в монастырской школе стал преподавать иеромонах Симеон Полоцкий, составивший подробный план образования академии. В это время, специально для школы, были построены учебные здания.

Конец 1687 года считается датой открытия Славяно-греко-латинской академии. Именно в это время для академии были сооружены новые здания: учебный трехэтажный корпус, обращенный главным фасадом к Китайгородской стене; смежный двухэтажный корпус, предназначенный для ректора и учителей, названный «учительским». На месте соединения двух зданий, в углу, была выстроена башня, названная звонковой. Здание имело сводчатое покрытие, в середине второго яруса находился зал для собраний и диспутов. Академия была связана с Заиконоспасским монастырем. Игумены и архимандриты Заиконоспасского монастыря состояли одновременно ректорами Славяно-греко-латинской академии. Храмы монастыря служили для нужд академии. В 1701 году в академии учились более четырехсот студентов. На протяжении последующих веков здания академии дважды горели и неоднократно перестраивались. Славяно-греко-латинская академия, став Духовной академией, была переведена в Троице-Сергиеву Лавру, а здания на Никольской, получившие статус памятников архитектуры, использовались в дальнейшем под различные учебные заведения, как-то: Духовное училище, Российский государственный гуманитарный университет.

В конце XVIII века строительство общественных зданий в России принимает все более широкий размах. При проектировании и строительстве общественных зданий нового назначения архитекторы использовали объемно-планировочные решения дворцовых комплексов. Однако назначение зданий и функциональные требования, предъявляемые к ним, были иные. Например, анфиладная композиция дворцов, с проходными помещениями без коридоров, не подходила для зданий высших учебных заведений.

Одним из первых крупных общественных зданий учебного назначения стала Петербургская Академия художеств, построенная в 1764-1788 гг. по проекту архитекторов А.Ф. Кокоринова и Ж.Б. Деламота (рис. 2 в). В 1769 г. А.Ф. Кокоринов был назначен ректором Академии художеств.

Здание для специального учебного заведения в России создавалось впервые, и потому основная задача А.Ф. Кокоринова заключалась в том, чтобы обеспечить удобную функциональную

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

организацию огромного сооружения [2, с. 349]. В своем проекте он использовал композицию монументального дворцового здания. Внутри большого прямоугольного в плане корпуса был расположен круглый парадный двор диаметром около 40 метров, а вокруг него – четыре малых служебных двора. На втором этаже здания, обращенного к Неве, размещены парадные залы. Учебные помещения, расположенные по периметру здания, связаны между собой коридорами, выходящими в сторону дворов. Здание симметричное, центр композиции подчеркнут куполом, перекрывающим круглый в плане конференцзал, а также портиком с четырьмя колоннами и фронтоном. Купольные ротонды, ранее характерные для церковных сооружений, стали принадлежностью светских монументальных зданий. Фасад здания расчленен пилястрами, а боковые ризалиты выделены четырьмя колоннами. Нижний рустованный этаж имеет арочные окна, два верхних этажа объединены пилястрами и колоннами. Граница между этажами подчеркнута меандровой полосой. Крупные общественные здания становятся композиционными акцентами городской застройки [3, с. 208-209].

Вторым крупным высшим учебным заведением становится Университет, построенный в 1793 году по проекту М.Ф. Казакова в Москве на улице Моховой (рис. 2 г). 12 января 1755 г. (по старому стилю) в день Святой Татьяны последовал указ об основании Университета в Москве. Поначалу для него не нашлось соответствующего здания и его пришлось разместить в каменных палатах бывшей Главной аптеки, возведенных в конце XVII в. у Воскресенских ворот Китай-города. Позже стала очевидной необходимость строительства для Университета специального, соответствующего его потребностям здания, с дальнейшим освоением территории по Моховой и Б. Никитской улицам. Выбор этого места был уже ранее одобрен императрицей, хотя выдвигались и альтернативные предложения.

Здание П-образное в плане, расположено в глубине участка, но связано с улицей благодаря боковым корпусам, выходящим на красную линию. Ансамбль Университета построен в стиле классицизма, архитектор использовал планировочную схему крупной усадьбы с развитой купольной центральной частью. Здание симметричное, центр акцентирован восьмиколонным ионического ордера портиком с аттиком. Большой центральный актовый зал в форме полуротонды венчает купол. Торцы корпусов, выходящих на улицу, украшены фронтонами и пилястрами ионического ордера. По вертикали здание разделено на две части, низ рустованный, а два верхних этажа здания объединены лопатками [3, с. 230].

Таким образом, высшее учебное заведение, а именно Славяно-греко-латинская академия, созданное на Никольской улице, имело свое продолжение в здании на Моховой, специально построенном по проекту М.Ф. Казакова для размещения Университета.

Позднее, в 1804 году, был основан Казанский государственный университет, прославившийся многочисленными научными школами и учеными, обогатившими науку открытиями мирового значения. В XIX в. Казанский университет пользовался широкой известностью как один из первых и наиболее значимых в Европе центров преподавания восточных языков и изучения восточных культур. В середине XIX в. в состав университета входили кафедры арабо-персидского, турецко-татарского, монгольского, китайского, армянского языков, образовав так называемый «восточный разряд» [6].

Архитектурное ядро университетского комплекса представляет собой архитектурный ансамбль, созданный в стиле русского классицизма 20-30-х гг. Первоначально университет размещался в зданиях бывшей мужской гимназии и расположенного рядом жилого дома. На основе реконструкции и объединения этих зданий архитектор Н.Г. Пятницкий в 1825 г. создал одно из самых интересных зданий в Казани. К фасаду, выходящему на ул. Воскресенскую, были пристроены три портика. Центральный 12-колонный и боковые 6-колонные портики ионического ордера делили фасад на пять частей и скрадывали большую (160 м) протяженность корпуса. Остальные учебные здания университетского комплекса, расположенные во дворе: анатомический театр, библиотека, астрономическая обсерватория и др. – были построены в 1833-1838 годах архитектором М.П. Коринфским [7, с. 34-36].

Университетский комплекс занимает целый квартал города и представляет собой архитектурный ансамбль с композиционной осью, проходящей через центры главного корпуса и анатомического театра.

Казанский университет является важнейшим градостроительным объектом Казани в историческом городском ядре, значительным исторически сложившимся архитектурным ансамблем, одним из главных объектов городской панорамы.

Конец XVIII века – период формирования классической школы в русской архитектуре. Многочисленные крупные здания общественного назначения, в частности высшие учебные заведения, становятся композиционными акцентами городской застройки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Высшие учебные заведения в Западной Европе появились в XI веке, в России в XVII веке, на пять столетий позднее. Образование в первых университетах и академиях было как духовным, так и светским. Изучались теология, медицина, юриспруденция. Как в Западной Европе, так и в России, протекторами создания высших учебных заведений были духовенство и государство.

Первые университеты и академии преобразовывались из монастырских школ, их структура напоминала объемно-планировочное решение монастырских комплексов. В состав университетов входили здания культового назначения. Исследователями был отмечен тот факт, что стремление к большей геометричности и регулярности планировочной композиции обозначилось в монастырском строительстве на Руси значительно раньше, нежели, например, в строительстве городов или крепостей. Это стремление объясняется символической трактовкой монастыря-крепости как целостного ансамбля, что стало одним из принципов объемно-планировочного решения университетов и университетских городков в Западной Европе и России.

В Западной Европе, а в некоторых случаях и в России, первые университеты развивались на территориях, занятых ими изначально. Сохранялись традиции культуры и образования, поддерживался облик архитектурных ансамблей, заложенный со времен основания.

В настоящее время наблюдается укрупнение университетов, а также тенденция симбиоза университетов с научными, технологическими парками.

В целом, на протяжении XIII-XV вв. сформировалась структура университетского городка с архитектурно-композиционными приемами, повторяющимися с незначительными изменениями в последующем университетском строительстве. Архитектурный ансамбль университета – замкнутый, компактный и композиционно завершенный – становится источником распространения новых идей, ценностей, культурных навыков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всеобщая история архитектуры в 12 томах. Т. 5. Архитектура Западной Европы XV-XVI веков / Под ред. В.Ф. Маркузона, А.Г. Габричевского, А.И. Каплуна и др. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 329, 406-407, 470-472.
2. История русской архитектуры / Под ред. В.И. Пилявского, А.А. Тиц, Ю.С. Ушакова. – М., – Л.: Стройиздат, 1984. – С. 349.
3. Всеобщая история архитектуры в 12 томах. Т. 6. Архитектура России, Украины и Белоруссии XIV-первая половина XIX вв. / Под ред. Н.Я. Колли, Н.В. Баранова, В.В. Большакова и др. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 208-209, 230.
4. Грицак Е.Н. Саламанка. – М.: Вече, 2006.
5. Всеобщая история архитектуры. Т. 2 / Под ред. Б.П. Михайлова. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – С. 174, 358-359.
6. Казань в памятниках истории и культуры. – Казань: Татарское книжное издательство, 1982. – С. 166-170.
7. Айдаров С.С. Архитектурное наследие Казани. – С. 34-36.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК: 72.01
Д.А. Куликов – аспирант
E-mail: dmitry.kulikov@bk.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

КОЭВОЛЮЦИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА

АННОТАЦИЯ

В статье устанавливаются связи между процессами потребления и организацией архитектурного пространства. Описываются пять типов потребления и соответствующие им пространственные системы: естественное потребление (субстратное жилище и поселение); замкнутая система потребления (город – клан, город – государство); территориальная система потребления (город – функциональный элемент); государство как система потребления (города – колонии, взаимодействие систем); корпоративная сеть потребления (глобальный город). Главным следствием предложенной гипотезы является понятие о ресурсосберегающей форме потребления как стадии развития архитектурного пространства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурсосберегающая архитектура, теория потребления, потребление, ресурсы, пространственная организация.

D.A. Kulikov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering

COEVOLUTION OF CONSUMPTION AND SPATIAL FORMATION. THEORY OF CONSUMPTION

ABSRACT

There is a strong global connection between processes of consumption and spatial formation of architectural space. Five types of consumption and appropriate spatial systems were exposed by author. They are: natural consumption (archetype habitation and settlement); closed consumption system (ancient settlement, clan – city, city – state); territorial consumption system (city as the functional unit of consumption system); state as the consumption system (city – colony, interaction of the systems); corporative net of consumption (global city). This hypothesis lead to the point of view, according to which, the next stage of spatial evolution could be the resource-saving form of architecture and consumption.

KEYWORDS: resource-saving architecture, theory of consumption, consumption, resources, architectural space, spatial organization.

Ресурсосбережение и устойчивое развитие в настоящее время – одна из самых изучаемых тем архитектурного дискурса. Нарастающие ресурсные проблемы города дают новый толчок развитию архитектурной теории, а необходимость поиска новых, альтернативных моделей развития, именно в организации пространства, является остро актуальной, как с философских, так и с архитектурных позиций [1, 2]. Проблема заключается в отсутствии специальных архитектурных знаний о ресурсосбережении, ресурсопотреблении и ресурсосберегающих способах организации архитектурного пространства. Существует набор разрозненных теорий, но нет системного взгляда и общей парадигмы. Зачастую подходы к ресурсосберегающей архитектуре основаны на старых ресурсоемких методах и технологиях [1]. Данная публикация рассматривается автором как первое приближение в установлении связей между процессами потребления и организацией архитектурного пространства различных уровней. Следствием данной гипотезы является понимание ресурсосберегающей архитектуры как организационной архитектурно-пространственной системы новой парадигмы потребления.

Согласно Мишелю Фуко, *«воображение общества тесно связано с привычным для него способом организации пространства»*. Фуко развивает свои тезисы в сторону исторического соответствия различных уровней организации пространства и, к примеру, таких конструктов, как «власть» [4]. Предложенная автором «теория потребления» говорит о связи между процессами

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

потребления и организацией пространства. Основная идея заключается в том, что на протяжении развития истории пространство (его структура, функции, форма, глобальные и локальные характеристики) находится в строгом соответствии с процессами потребления, господствующими в обществе. Автором были выявлены основные исторические системы потребления и особенности архитектурной организации каждой из них. Прежде чем дать их описание, необходимо отметить, что приведенная ниже гипотеза требует отдельного научного исследования, более системных подтверждений и доказательств. Выдвинутая гипотеза сопровождена примерами, ссылками, опорой на другие исследования и концентрирует необходимую проблематику, образуя теоретическое поле, ставя его на единую почву эволюционного развития общества, архитектуры и пространства. Ранее автором рассматривалось понятие «потребление», его история, метаморфозы и современные составляющие [3].

Для объяснения коэволюции пространства и принципов потребления необходимо ввести понятие, характеризующее данное соответствие. ***«Форма потребления»*** *– господствующая парадигма потребления (социальная, экономическая, политическая, философская), выраженная в устойчивых и характерных ей типах организации пространства различных уровней – пространственно-планировочный, объектно-планировочный.*

Первоначальную систему потребления можно описать как ***«естественное потребление»***. Такое общество подобно стае, выживание которой зависит в одинаковой степени как от внешних причин, так и от многообразия накопленных навыков. Организация пространства сводилась к принципам жилища, которое до наших дней дошло в форме архетипов или субстратных конструкций (щит-заслон, шалаш, вигвам, гнездо, пещера и многие другие) [10, с. 139, 166]. В современных условиях этот принцип потребления встречается в гипертрофированной форме в виде устоявшихся гетеротопий – например лагеря для беженцев, зоны помощи, образовавшиеся в результате природных катаклизмов и т.д.

На следующей ступени потребления появилась первая модель пространственной организации – ***«город как замкнутая система потребления».*** В данном тезисе понятие город применено условно и касается древних поселений [10, с. 130-131]. Временную границу, согласно принятой хронологии, можно обозначить периодом до 10 000 до н.э. [5]. Период характерен извлечением ресурсов из строго определенных мест, применением некоторых металлов, использованием энергии ветра и воды, тяговой силы домашних животных. Главным ресурсом являлась земля. На выбор места для селения влияло наличие близких сенокосов, пастбищ, воды, пахотной земли, степень защищенности и т.д. «Город как замкнутая система потребления» совмещал в себе функции добычи, распределения и поглощения ресурсов и имел устойчивую систему потребления: огород, дом, мастерская, базар, отхожее место, свалка, кладбище, защитные укрепления и другие элементы. Ареал влияния был предельно малым. Сторонники теории о палеоконтактах приводят доказательства о существовании городов – гигантских комплексов, совмещающих переработку и добычу золота с жилыми и культовыми сооружениями [6], т.е. устоявшейся типологии города-единицы.

Третий этап эволюции пространственной системы города следует связывать с появлением сложных обществ и новой более широкой системы потребления, установившейся во многих культурах независимо друг от друга: «*Одним из наиболее замечательных фактов окажется видимое сходство, которое обнаруживают сложные общества. Некоторые общие черты очевидны, например монументальные пирамиды; ...Другая черта, сближающая сложные общества Старого и Нового Света, касается способа организации городов. Если сравнить план Урука или Ура с планом Теотиуакана или Чан Чана, то и здесь обнаруживается сходство. Города разделены на функциональные зоны, в них можно найти церемониальные, торговые и жилые зоны. Эти последние оказываются очень похожи, если рассмотреть их размеры и функциональную организацию пространства*»[5]. Система потребления связана с появлением нового элемента – политической системой. В период с 10 000 лет до н.э. до X века н.э. развивалась пространственная система ***«город как элемент территориальной системы потребления»***.

Этап связан с систематическим освоением растительных и минеральных ресурсов. Стали использоваться почвенно-климатические ресурсы, естественные ресурсы кормов и воды для массового орошения плантаций. Перед людьми впервые возникли экологические проблемы антропогенного происхождения. Так, уничтожение лесов привело к катастрофическому сокращению населения о. Пасхи [11]. В архитектуре пространства прослеживается дифференцирование функций. Город теперь – это системная единица потребления и освоения ресурсов. Процесс урбанизации, результатом которого стали рост индустрии, развитие культурно-политических функций городов и

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

углубление территориального разделения труда, привел к разделению пространств по функциональному назначению. Это можно проследить на следующих устоявшихся типологиях:

• **Город-столица.** Город, объединяющий в себе максимум функций: управление, распределение, потребление.
• **Город-производитель.** Поселение с функцией обслуживания производства.
• **Город-добытчик.** Основная функция – обслуживание процесса добычи ресурсов. Города-поселки рабочих.
• **Город-порт.** Прием и распределение ресурсов между единицами потребления.
• **Город-резиденция.** Функция – управление системой потребления.
• **Город-рекреация.** Потребление рекреационных ресурсов.
• **Город-храм.** Поддержание духовного ресурса.

Сложившаяся система «городов элементов потребления» стала началом формирования сетевой системы потребления ресурсов.

В период X-XX веков потребление можно обозначить через организационную систему более высокого уровня – ***«государство как система потребления»***. В этот период человек открывает для себя планету, выявляет доступные ресурсы, получают современный вид государственные границы, формируется понимание стратегического запаса ресурсов. Государство рассматривается как единая сеть – система потребления. Распределение ресурсов характеризуется большой неравномерностью, что служит естественной основой для развития региональных принципов потребления. Естественные ресурсы одних культур потребляются другими. Складывается ***система ресурсной зависимости стран***:

• **Донор.** Государство – владелец, добытчик, экспортер естественных минеральных ресурсов. Импортер высокотехнологической продукции, культурных, экономических, социальных моделей потребления.
• **Экспортер.** Государство – производитель и поставщик высокотехнологичных ресурсов, потребитель естественных ресурсов государств-доноров.
• **Дилер.** Государство – производитель технологий и преобладающей парадигмы потребления. Государство-дилер располагает наиболее развитыми технологиями, обладая рычагами экономического и стратегического влияния, имеет возможность экспорта своих культурных ценностей, модели потребления в другие зависимые страны (к примеру, колонии).

Последняя треть XX века положила начало становлению новой формы потребления и ее пространственной типологии – ***«глобального города*** *как функции международной сети стратегических площадок, который представляет собой стратегическое пространство, где глобальные процессы происходят на территории государства»* – Саския Сассен пишет о преодолении системой потребления территориальных границ и возникновении глобальной экономической системы, пришедшей на смену национальному или межгосударственному управлению экономикой, которую уже нельзя рассматривать как простое повторение прежних форм. Сеть глобального города – это одна из основных особенностей организационной архитектуры на данном этапе [7].

На границе смены моделей потребления происходит резкая актуализация ресурсов. Борьба за энергетику стала началом становления ***«корпоративной сети потребления»***, когда международная кооперация и мощь трансатлантических корпораций становится новой производительной силой.

Неравномерность потребления порождает глубокие социальные противоречия между странами и сообществами. Неустойчивая система планетарного гиперпотребления к концу XX века не выработала защитного механизма регуляции. Ресурсный кризис дал толчок развитию нового ресурсосберегающего типа потребления.

Ресурсосберегающее потребление

После описания теоретической модели необходимо перейти к следствиям предложенной гипотезы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Эволюционность развития потребления. Теория трактует эволюцию, как пошаговую смену форм потребления, охватывающих все большее пространство, формирующую стабильную систему и усложняющую потребление. Понимание ступенчатого развития системы «пространство-потребление» дает возможность прогнозирования метаморфоз городов, регионов и государств.

Соответствие формы потребления конкретной организации архитектурного пространства позволяет избежать грубых проектных ошибок при адаптации отстающих обществ к преобладающей форме потребления или при искусственной смене типа потребления в ту или иную сторону. В развитие данного тезиса можно привести пример подобной ошибки: Чандигарх проектировался как модель нового индустриального города «прогрессивной» западной модели потребления. Градостроительная и архитектурная структура не была принята обществом с несоответствующей спроектированному пространству структурой потребления. «*...в Чандигархе, где и природа, и люди принимали искаженную форму европейской экспансии с обманчивой безучастностью, средовой контекст одержал странную победу над колониализмом. Этот чужой город превратился в ландшафт, постройки Чандигарха сегодня стали природными формами, на которых люди живут своей жизнью и строят свои, удобные им дома – глинобитные хижины, которые лепятся к обшарпанным бетонным стенам полузаброшенных индустриальных жилых ячеек*»[8]. Модернистское архитектурное пространство нового Чандигарха было преобразовано средой в пространство, соответствующее индийской модели потребления. Только сейчас, когда эта провинция приближается к европейской модели потребления, пространство постепенно начинает функционировать и оживать.

Актуализация новых ресурсов как показатель смены формы потребления. Кризис пространственных формаций и архитектурных типологий – это сигнализатор момента перемены в потреблении. Резкая актуализация и востребованность новых ресурсов служит первой предпосылкой в изменении парадигмы системы потребления.

«Глобальный город» как современная форма потребления. Развитие принципов глобального города связано с реализацией архитектурных и градостроительных типологий. По мнению С. Сассен, в глобальных городах наблюдается новый пространственный порядок, новая пространственность [7]. Стремительное развитие глобальных городов по всему миру – Нью-Йорк, Гонконг, Шанхай, Москва, Токио, Лондон, Сидней, Мехико, Лагос, Сингапур – в конце XX века говорит о необратимости становления сетевой структуры потребления. Глобальный город имеет свою структуру, архетипы и градостроительную логику, что говорит о возможности сопоставления и оптимизации развития текущих и последующих глобальных городов – сетевых центров.

Вторым следствием является понимание ресурсоемкости существующей формы потребления. Цивилизация более не может потреблять подобным образом, когда уничтожаются и ресурсы, и человек, и природа, а архитектура является иконой ресурсоемкости. XXI век поставил перед обществом глобальную проблему – ресурсный кризис, который связан линейной зависимостью с резким увеличением численности потребителей. Во все предшествующие эпохи процесс трансформации формы потребления был естественным и незаметным. Сейчас подобный сценарий угрожает человеку борьбой за выживание вида. Необратимость оптимизации потребления очевидна, необходим поиск новых моделей с устойчивым вектором развития, поиск новых ресурсосберегающих пространственных форм. Мы находимся в условиях искусственной, не эволюционной смены парадигмы потребления.

Наличие неизученных устойчивых форм потребления. С. Уилсон, исследуя развитие различных моделей сложных обществ, говорит о существовании в прошлом сообществ, способных к долгому и устойчивому развитию: «*...существуют археологические доказательства, говорящие в пользу существования сложных и примитивных обществ, которые были бы откровенно экзотичны. Важно как можно лучше изучить эти общества, поскольку общества, взявшие над ними верх, общества, способные к быстрому росту, агрессивные и эксплуататорские, совершенно неспособны к длительному росту. Если рассмотреть их в глобальном масштабе, то преобладающие сегодня на нашем земном шаре сложные общества и экономические структуры, от которых они зависят, поставили огромные проблемы переэксплуатации: потепление климата, массовое биологическое вымирание, расточительство горючих полезных ископаемых. Именно в этом контексте особенно*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

полезно суметь использовать другие типы сложных обществ, возможно, более стабильные»[5]. Исследование пространственной структуры городов и поселений таких сообществ может привести к появлению новых устойчивых моделей потребления.

Ресурсосберегающее потребление как новый этап эволюции пространства. В истории общества наблюдается стремительное совершенствование принципов потребления, длительность каждого последующего этапа сокращается в разы по сравнению с предыдущим. Текущая корпоративная система трансатлантических сетей практически завершила свое формирование в виде глобальных городов. Ввиду катастрофических последствий сложившейся системы гиперпотребления с большой долей вероятности можно предположить: следующая стадия потребления будет ресурсосберегающей. В глобальном пространственно-экономическом выражении большую роль будет играть региональная кооперация, в которой главную роль играют регионы (региональные единицы) как производители ресурсов с оптимизированной системой потребления.

По С. Сассен, концепция глобального города-региона концентрируется на проблемах и особенностях основных моделей урбанизации, большего охвата экономической основы, среднего сектора домохозяйств и фирм, а следовательно, также и на распределении экономических выгод от глобализации. В этом отношении концепция глобального города-региона позволяет увидеть возможности более сбалансированного роста [7]. Архитекторы MVRDV говорят о последующих двух этапах развития мирового потребления: оптимизация и максимизация [9] – и конструируют возможные пространственные сценарии. За производство альтернативной энергии, выращивание леса, сельское хозяйство будут отвечать только те регионы, которые климатически и географически максимально к этому приспособлены наилучшим образом. В проекте «Costa Iberica», исследуя потенциал развития туристической индустрии, предполагается усиление роли испанского и португальского побережья, как единой зоны, в качестве крупнейшего в мире центра отдыха. Подобные перемены вызовут изменения в демографии, иммиграции и пространственной организации региона, это может привести к появлению специальных типологических единиц, способных адаптировать эти процессы. Проект «Ciudad Valle Central» – пример оптимизирования слабо развитого агропромышленного региона в Чили – предусматривает создание крупнейшей градостроительной единицы нового уровня – CVC Agrocity. Пример инверсионного применения оптимизации – проект «Foret MLM», превращение зоны вымирающей индустриальной промышленности во Франции в крупнейший природный дикий парк как часть исчезнувшего европейского зеленого кольца. Понимание новой архитектуры регионов приведет к созданию пространств нового ресурсосберегающего мышления. Другим следствием ресурсосберегающей формы потребления будет изменение архитектуры города как основной единицы потребления.

Космологическая форма потребления как один из последующих этапов эволюции потребления. Многие поколения исследователей, ученых, футурологов предполагали выход человечества за пределы планеты и даже Солнечной системы. Технологии развиваются стремительно, сейчас вошел в моду космический туризм, а число стран, вышедших в космос, увеличилось в разы. В качестве одной из предстоящих форм потребления логично предположить космологическую фазу, первой ступенью которой будет освоение ближайшего спутника – Луны и получение энергии из открытого космического пространства. В связи с этим было бы рационально предположить значительное изменение структуры и пространственной организации земных городов.

Основным в приведенной гипотезе является тезис о неизбежности ресурсосберегающей формы потребления как глобальной пространственной системы с набором транскультурных архитектурных компонент и типологий. Необходимо на всех уровнях архитектурного образования инициировать данную проблематику, как развитие стратегического потенциала общества и повышение его исторической устойчивости. Архитектура порой очень медленно реагирует на вызовы современности, а общества, не способные к быстрой адаптации, показывают себя исторически не устойчивыми. Таким образом, на стыке исторической, социальной и архитектурной наук необходим поиск новых потребительских моделей длительного устойчивого развития и соответствующей им ресурсосберегающей организации пространства.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдарова Г.Н. Ресурсосберегающая архитектура как альтернатива современного развития // Труды годичного собрания РААСН. – М., 2003. – С. 204-206.
2. Киносьян В.А. Курс лекций для аспирантов. – Казань: КазГАСУ, 2005.
3. Куликов Д.А. Вирус в доспехах: Архитектура и потребление. // Материалы научной конференции «Вектор архитектурного образования – прагматизм или концептуальные фантазии». – Казань: КазГАСУ, 2006. – С. 124-129.
4. Фуко М. Другие пространства // Журнал Проект International, 2009, № 19. – С. 180-190.
5. Уилсон С.М. Детерминизм и неопределенность в истории происхождения государств // Сборник статей «Человек перед лицом неопределенности» под ред. Пригожина И. – М., – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – С. 138-155.
6. Ситчин З. 12-я планета. – М.: Новая планета, 1990.
7. Сассен С. Глобальные города: постиндустриальные производственные площадки // Журнал «Логос», 2003, № 5.
8. Микулина Е. Идеалисты. Чандигарх: «Город Солнца» // Журнал «Проект классика», 2001, № 2.
9. MVRDV KM3: Excursions on capacities // Barcelona, Actar, 2005.
10. Айдарова-Волкова Г.Н. Архитектурная культура Среднего Поволжья XVI-XIX веков: модель развития, структура типов, влияния. – Казань: КГАСА, 1997. – 196 с.
11. Даймонд Д. Коллапс // ISBN 978-5-9713-8389-5.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 711.03 (470.40)
Х.Г. Надырова – кандидат архитектуры, доцент
E-mail: nadirova@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПЛАНИРОВОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ И БЛАГОУСТРОЙСТВО ПОВОЛЖСКИХ ГОРОДОВ ЗОЛОТОЙ ОРДЫ

АННОТАЦИЯ
Статья посвящена анализу планировочных структур и вопросам благоустройства крупных городов Золотой Орды, располагавшихся на берегах Волги: Булгара, Сарай-Бату и Сарая аль-Джадит. Рассмотрены приемы формирования улиц и площадей, системы водоснабжения и водоотведения этих городов.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: благоустройство, планировка, архитектура.

Kh.G. Nadirova – candidate of architecture, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

PLAN STRUCTURES AND IMPROVEMENT OF THE VOLGA CITIES OF THE GOLD HORDE

ABSTRACT
The article is devoted to the analysis of plan structures and to questions of the improvement of the large cities of Gold Horde, situated on the banks of the Volga: Bulgar, Sarai-Batu, and Sarai al-Dzhadit. Receptions of formation of streets and the areas, systems of water supply and water removal of these cities are considered.
KEYWORDS: improvement, design, architecture.

В Восточной Европе в 1240-е гг. образовалось оседло-кочевое государство Улус Джучи, или в русской интерпретации с XVII в. Золотая Орда. Территория его простиралась до западных границ, а на востоке охватывала практически западную половину Сибири современного Российского государства. В данной статье автор сделал попытку проанализировать взаимосвязь планировочной структуры и благоустройства крупнейших поволжских городов Золотой Орды 2-й пол. XIII-XIV вв.: Сарая-Бату (Старого Сарая), Сарая аль-Джадит (Нового Сарая) и Булгара (Болгара). Первые два из них возникли и развивались в степных низовьях Волги и воплотили в себе все основные черты золотоордынских городов. Болгар в домонгольский период был небольшим городом Волжско-Камской Булгарии. В составе Золотой Орды, после падения Волжско-Камской Булгарии и разгрома её столицы г. Биляра, он стал столичным центром Булгарского Улуса.

В настоящее время принято считать установленным фактом существование двух столиц: Сарай-Бату (Старый Сарай, по монетам Сарай ал-Махруса – Сарай Богохранимый) и Сарай ал-Джадид (Новый Сарай или Сарай-Берке). Первую столицу Золотой Орды Сарай-Бату соотносят с Селитренным городищем в Харабалинском районе Астраханской области, а вторую – с Царевским городищем в Волгоградской области. Оба городища расположены на левом берегу р. Ахтубы, левого рукава Волги.

Описания развалин бывших городов Золотой Орды встречаются в записках путешественников [9, с. 12; 29, с. 23]. Первое обстоятельное описание Царевского городища принадлежит саратовскому краеведу А.Ф. Леопольдову [20]. В 1842 г. был снят первый план Царевского городища по приказу начальника межевания казенных земель в Саратовской губернии подполковника Тетеревникова несколькими военными топографами. Тетеревников оставил подробные описания руин золотоордынских городов [33, с. 110]. Краевед А.В. Терещенко опубликовал свои впечатления и результаты своих многолетних раскопок (40-50-х гг. XIX в.) одной из золотоордынских столиц вблизи Царевского городка. План Царевского городища по его поручению был снят местным землемером Васильевым в 1843 году [32, с. 349-375].

В 1920-е гг. профессор Казанского университета Ф.В. Баллод обследовал несколько золотоордынских городищ в Поволжье [4, 5].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Планомерные исследования городов Улуса Джучи начались в послевоенные годы XX столетия. Раскопками 1959 г. было положено начало многолетним полевым работам Поволжской экспедиции на Царевском городище. Тогда же были начаты инструментальные съемки плана, законченные в сезон 1960 года. В результате во многом был уточнены планы городища, составленные еще в середине XIX века. Масштабные работы на Царевском городище с небольшими перерывами продолжались до 1973 г., возобновились в 1994 г. и продолжаются до настоящего времени [13, с. 19]. С 1965 по 1990 гг. городище у с. Селитренного в Астраханской области становится основным памятником для археологических исследований. На Селитренном городище, помимо частично раскопанных четырех богатых аристократических усадеб, исследованы рядовые жилища, несколько мавзолеев, многочисленные погребения, три бани, соборная мечеть, медресе, ремесленные мастерские и т.д. [28, с. 180-191]. В 1999-2000 гг. Татарско-Астраханский отряд Поволжской археологической экспедиции (ТАО ПАЭ) проводил раскопки Селитренного городища [8, с. 70]. Большой вклад в изучение золотоордынских городов внес Г.А. Федоров-Давыдов [34, 35].

Особенно интенсивно археологические раскопки с послевоенных лет велись на Болгарском городище РТ, который связывается с г. Булгаром, центром улуса, возникшим на бывшей территории Волжско-Камской Булгарии. Долгие годы исследования на нем возглавлял известный ученый А.В. Смирнов. В настоящее время на Болгарском городище сохранились остатки укреплений в виде оплывшего вала и рва, опоясывавших город во 2-пол. XIV – сер. XV вв., несколько целых (Малый минарет, Черная палата, Ханская усыпальница), частично восстановленных (Северный и Восточный мавзолеи), восстановленных (Большой минарет) каменных зданий, расчищенные и законсервированные руины Соборной мечети, обилие руин каменных и кирпичных зданий и холмов, их скрывающих.

В 1712 г. на его территории был устроен православный Успенский монастырь, для которого в 1732 г. вблизи северо-восточного угла руинированных остатков Соборной мечети была построена кирпичная Успенская церковь. При переписи земель, отведенных для монастыря, дьяком А. Михайловым была составлена первая полная опись каменных построек и развалин на территории Болгарского городища [22, с. 526-595]. В 1720-е годы подполковником Н. Савенковым и геодезистом И. Крапивиным было составлено подробное топографическое описание городища и его памятников [42, Приложение]. Во 2-й пол. XVIII – нач. XIX вв., помимо подробных описаний сохранившихся построек, были сделаны их первые зарисовки и обмеры [21, 24, 42]. Они донесли до нас облик зданий, многие из которых позднее утратили свои купольные завершения или были частично или полностью разобраны. В XIX в. были продолжены исследования построек с графической фиксацией их состояния на тот период [7, 18, 19, 26, 27, 29]. Богатый материал по истории Булгарского государства, о зданиях и сооружениях города Булгара собран в обобщающем труде С.М. Шпилевского [42].

Планомерное и системное археологическое изучение Болгарского городища началось в 1938 году. За последние 63 года исследований составлена стратиграфическая шкала и опись раскопов на Болгарском городище с указанием места, площади и времени проведения раскопов, фамилий археологов и мест хранения отчетов [10, с. 356-363; 30; 31]. С 1920-х гг. в изучение памятников архитектуры Болгарского городища включились архитекторы [1, 2, 14, 15, 23].

Город Булгар располагался на крутом обрывистом левом берегу Волжской долины. У подножия обрыва протекали две речки: Болгарка и Меленка, притоки Волги. Плоская низменная часть берега Волги, находившейся в 6 км от обрыва высотой свыше 40 м, являлась ее древним руслом и также была заселена.

Домонгольский г. Булгар представлял собой небольшой торгово-ремесленный город Волжско-Камской Булгарии и имел деревянную застройку по береговому склону и вдоль речки Меленки. Оборонительная система города состояла из двух рвов с 8-метровым зазором между ними и двух стен в виде бревенчатого заплота по сторонам внутреннего, восточного рва [31, с. 7; 37, с. 19].

В 1236 г. Болгар был захвачен монгольскими войсками Бату хана. Возвратившееся население вновь заселяет весь крутой берег Волги вплоть до порта Ага-Базара и правобережье р. Меленки в подгорной части города. Оборонительная система была разрушена, и на ее месте появилась жилая застройка. В 1240-60-х гг. была построена большая соборная мечеть [25, с. 175]. Вокруг Соборной мечети в этот период располагались жилые деревянные постройки, кирпичные железоплавильные и глинобитные керамические горны. Это был ремесленный район с уличной застройкой. Восточнее мечети сохранялось старое кладбище.

К сер. XIV в. Соборная мечеть была дважды реконструирована и представляла собой здание, укрепленное по углам мощными многогранными крепостными башнями, с многоколонным залом,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

портальным входом и пристроенным к северному фасаду столпообразным минаретом высотой 26-30 м [2, с. 8-33]. В 1330-е годы перед северным и восточным фасадами Соборной мечети возведены мавзолеи, получившие в научной литературе названия Северный и Восточный. В процессе их строительства вокруг мечети в радиусе 50-60 м были снесены жилые постройки, убрано кладбище. Впервые в регионе был сформирован культово-мемориальный ансамбль. В середине 1330-х гг. оформлена центральная площадь города с покрытием из мелкого известкового бута и крошки [6, с. 316]. С восточной стороны площадь занимала пространство до Восточного, с северной – до Северного мавзолеев. Южнее мечети проложена улица в направлении восток-запад, которая отодвинула от площади жилую застройку. Улица имела деревянную мостовую, сложенную из деревянных плах длиной около 2 м и шириной 20-30 см, толщиной 6 см, уложенных на лаги в виде горбылей. Кое-где под доски были подложены камни. Мостовая трижды обновлялась в течение 1-й пол. 14 в. [38, с. 70]. Вдоль других сторон площади также проходили улицы. Есть основания считать, что в центре города сложилась улично-квартальная застройка с преобладающим направлением улиц по сторонам света. Ей соответствовала и ориентация сторон главной площади города с Соборной мечетью и мавзолеями. Жилая застройка формировалась наземными срубными жилищами и полуземлянками. За Иерусалимским оврагом в южном и юго-восточном направлениях развивается новый жилой район, застроенный домами монгольского образца с подпольным отоплением.

Территория города имела холмистую поверхность, много так называемых весенних озер, наполнявшихся весной водой и пересыхавших к концу лета. Вероятно, некоторые из них были полноводными круглый год и являлись наряду с ключами на береговом склоне источниками воды для горожан. Берега сезонных водоемов часто оформлялись площадями. На раскопе LXXXII выявлена обширная площадь 70х30 м на западном берегу сезонного водоема. Поверхность площади была покрыта плотным слоем строительного раствора с дробленым туфом и примесью угольной крошки [6, с. 317]. Другими источниками воды в городе служили колодцы с деревянными срубами, опущенными на глубину до 7 м, вероятно, до ближайшего водоносного слоя. Стены колодцев срублены «в обло» или «в лапу» из сосновых и дубовых бревен или толстых плах. Колодцы имели какие-то подъемные механизмы. Возможно, в виде ворота, колеса или иного типа. От них сохранились только места врубок. Об их существовании говорит факт использования колодезной воды в общественных банях.

Во 2-й пол. XIII в. в г. Булгаре продолжали строить кирпично-каменные бани восточного типа – хамам, которые были широко распространены в домонгольское время в Биляре, Суваре и др. городах Волжско-Камской Булгарии. Одной из первых каменных общественных бань города была так называемая Восточная палата, располагавшаяся в 200 м к юго-востоку от Восточного мавзолея. Здание сложного плана перекрывалось полуцилиндрическими сводами и полусферическими куполами [40, с. 249-250]. К сер. XIV в. на береговом склоне и в подгорной части города были построены еще несколько бань. Вдоль и на половине высоты берегового склона пролегала улица, на которой располагались в ряд бани-хаммам. Эта протяженная улица была связана с верхним плато и нижней подгорной частью города деревянными и каменными лестницами. Средняя из бань располагалась на оси с Соборной мечетью, только внизу под обрывом, и по цвету внутренних стен была названа археологами Красной палатой. Кирпично-каменное сооружение предназначалось, очевидно, для средних социальных слоев. Перед Красной палатой на склоне берегового откоса была устроена площадь с покрытием из хорошо подогнанных квадратных и прямоугольных известняковых плит различного размера. Под покрытием обнаружен водопровод из глиняных труб с распределительной муфтой, выводное отверстие которой было направлено кверху. Вероятно, на площади в этом месте находился фонтан или небольшой бассейн [31, с. 201-203; 6, с. 314-315]. В 300 м к западу и в 150 м к востоку от Красной палаты располагались бани чуть меньших размеров. Перед главным фасадом бани в западной части склона также была устроена площадь с покрытием из массивных известняковых плит 90 х 100 см. На площади был фонтан, к которому подводилась вода по трубопроводу из керамических труб и отводилась по системе канализации из желобов [39, с. 70].

За р. Меленкой в западной части заречного посада располагалась баня для бедных слоев населения. Перед ней с юго-восточной стороны была устроена мощеная площадь с покрытием из известняковых плит размером от 12х5х5 см до 40х25х7 см. Под покрытием поверхность была выровнена подсыпкой щебня и специальной глиняно-известковой подушкой. В центре площади перед главным фасадом бани был установлен фонтан, к которому подведен водопровод, устроенный в каменном желобе [6, с. 315; 40, с. 220].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В юго-западной части города в 100 м к югу от Черной палаты располагалась еще одна баня, получившая название Белая палата. Вероятно, в Булгаре было еще несколько бань. Устройство площадей с покрытием из песчаниковых или известняковых плит неправильной формы и различного размера известно в других местах города. В некоторых местах под ними сделана подсыпка щебня. Выявлен также уличный водоем прямоугольной формы, облицованный профилированным камнем. Вода в него подавалась по системе водопровода из керамических труб, уложенных на 30-40 см в глубине от покрытия площади. Излишки воды стекали по неглубокой канаве, отходившей от этого бассейна в юго-восточном направлении [6, с. 313, 330].

Особенно плотная застройка наблюдалась в пространстве к западу от Соборной мечети. На улицах выявлена деревянная мостовая шириной более 2 м. Среди домов знати здесь располагались и жилища ремесленников. В 500 м к юго-западу от Соборной мечети в сер. XIV в. было построено монументальное здание предположительно ханского судилища, получившее название Черная палата. По своей социальной значимости Черная палата должна была располагаться на площади или одной из главных улиц города. Вокруг нее находились каменные и деревянные жилища знати и состоятельных слоев населения.

В 1361-67 гг., в период смуты в Золотой Орде, центр г. Булгара был опоясан рвом, валом и деревянными крепостными стенами двухметровой толщины и протяженностью около 7 км. Стены были укреплены предположительно 14 деревянными, многогранными башнями и имели трое ворот: южные, восточные и западные [3, с. 47-48]. Оборонительные стены опоясали огромную территорию по живой ткани города. С западной стороны, за линией города располагались несколько озер, которые питали ров вокруг города. На северных концах рва были устроены плотины, поддерживавшие необходимый уровень воды. От одного из этих озер был проложен водопровод через центр города к баням на склоне берега [30, с. 10]. Трубопроводы для подведения воды к баням, монументальным зданиям или водоразборным бассейнам выявлены на верхнем плато, склоне и подгорной части города. Водопроводы собирались из керамических труб в виде цилиндрических, бочковидных и усечено-конических отрезков, соединенных водонепроницаемым раствором [6, с. 332]. Вода от бань отводилась по узким каналам, облицованным плитками, или деревянным и каменным желобам, уложенным по их дну. Для укрепления берегового откоса и водоотведения устраивались дренажные системы, состоявшие из водосборных сооружений, водоотводных и дренирующих каналов и поглощающих колодцев. Такая система возводилась в срубных конструкциях и имела протяженность в десятки метров [6, с. 337].

В 1361 г. крупный золотоордынский феодал Булак-Тимур захватил г.Булгар и удерживал его до 1367 г. После гибели Булак-Тимура власть в Булгаре удерживал до 1370 г. местный князь Хасан. Город Болгар в очередной раз поднимался из пепла и руин. Однако прежнего расцвета он уже больше не достигал. Вместо некогда богатых жилых районов в южной половине города образовались пустыри и кладбища. Жизнь возродилась в основном в северной прибрежной части города. Обширное кладбище образовалось в районе Черной палаты. Расширилось в юго-восточном направлении кладбище за Иерусалимским оврагом. В 1431 г. русское войско под предводительством князя Федора Пестрого захватило и сожгло город, который практически перестал существовать.

В период с 1251 по 1254 гг. предположительно была заложена столица Улуса Джучи – город Сарай. Однако следов 1250-1320-х гг. на городище не обнаружено. Город Сарай-Бату располагался на левом берегу реки Ахтубы, левого притока Волги, на протяжении 12 с лишним км и на 3 км в глубину от реки. Рельеф города формировался системой холмов и низин между ними. Самый крупный из них, Больничный, получивший название по располагавшейся на нем в 1920-е гг. больнице, являлся, очевидно, центром города, где располагались, по описаниям путешественников кон. XVIII – нач. XX вв., остатки ханского дворца и мечети с колоннами [5, с. 32]. От этого Больничного бугра на северо-запад на расстоянии приблизительно 0,5-1,0 км друг от друга тянется вдоль Ахтубы гряда бугров-холмов, которым в научной литературе историками и археологами были присвоены названия в соответствии с местной топонимикой: Кучугуры, Красный, Змеиный. В противоположном направлении тянутся бугры Маячный, Черепяное поле, Мазарки и другие (по Ф.В. Баллоду). На схематическом плане Селитренного городища с раскопами 1965-2000 гг. (по В.Г. Рудакову) видно, что центр города с учетом указанных холмов и территории села Селитренного тянется на 4,5 км вдоль левого берега Ахтубы. Низменная часть городища лежит на отметке 10,0 м. Верхние отметки холмов были в пределах 25,0-28,0 м и высота их более 15-17 м над низинами. Фрагменты усадебной застройки позволяют утверждать, что в Сарае была уличная планировочная структура. Очевидно, в обширных низинах между холмами она носила более правильный характер. Жилая застройка имела

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

здесь улицы с арыками, прослеживаемыми частично раскопками, а главным образом по микрорельефу и аэрофотосъемке [35, с. 26]. На Красном бугре упоминаются мечеть и минарет. Это уже практически в 2-х километрах северо-западнее Больничного бугра. Между Красным бугром и Кучугурами выявлена обширная площадь с общественной баней и мечетью, остатками юрты. На ней находился также двухкамерный туалет – батраб, построенный из сырцового и обожженного кирпича [35, с. 59]. Следовательно, планировочная структура г. Сарая-Бату реконструируется в виде цепи общественных зон, расположенных вдоль крутого обрыва к р. Ахтубе. Архитектура монументальных зданий этих зон формировала композиционные доминанты панорамы города с реки. Вокруг этих зон располагалась жилая застройка. Во всех районах города выявлены водоемы-хаузы, служившие естественными водохранилищами. Вдоль улиц выявлены арыки, соединявшиеся с хаузами. Береговой откос, как и в Булгаре, укреплялся дренажными системами.

В период междоусобиц (1360-1370-е гг.) данный район и весь город Сарай-Бату приходят в упадок. Система улиц нарушается. Засыпаются или забрасываются водоемы-хаузы, дренажные канавы и арыки. Прекращают работу многие мастерские. Перестают функционировать Соборная мечеть и общественная баня-хаммам на площади. Археологические материалы как в Булгаре, так и Сарае показали, что в 1380-90-е гг. часть аристократических районов городов покрывается могильниками, а частично заселяется рядовым населением. После погрома Сарая войсками Тамерлана в 1395 г. могильники занимают восточные и западные районы города, а жилым остается только район Кучугур.

Общая особенность жилой застройки нижневолжских золотоордынских городов, по археологическим данным, состояла в том, что богатые аристократические усадьбы окружались сырцово-кирпичными или глинобитными стенами. Улицы приобретали вид коридоров с входами в усадьбы.

Не менее интересно развитие Нового Сарая. По данным Ибн-Арабшаха, посетившего города Золотой Орды, при хане Узбеке между 1320 и 1332 гг. был заложен город Сарай ал-Джадид. Он стал новой столицей Золотой Орды. Графические материалы XIX в. по Новому Сараю показывают, что в нем имелись искусственные водохранилища, водопроводные каналы, плотины, сеть мелких каналов на огражденной территории городища, овражно-речная система с озерами Солоноватое и Сахарное в ближайших пригородах. Показана траектория оборонительной системы средневекового города.

Инструментальный план Царевского городища, снятый ПАЭ в 1960 г., позволяет воспроизвести планировочную структуру Сарая аль-Джадида в кольце оборонительных стен последнего периода существования. В центральной части Нового Сарая в 1350-е гг. существовала уличная планировка с арыками и водоемами на перекрестках и площадях [35, с. 30]. Часть крупных улиц Старого и Нового Сараев имела арыки, которые в поздний период жизни города соединялись со рвом, который в свою очередь с сетью каналов и большими искусственными озерами на северной окраине города образовывал единую систему. Там холмы и отроги речной надпойменной террасы Волги-Ахтубы были соединены дамбами из шлаков и обломков кирпичей, и вода, стекавшая весной и осенью в низменный район, где был расположен город, задерживалась в этих искусственных водоемах [5, с. 21-22, табл. 3; 35, с. 64; 36, с. 160-161].

Одновременно с Булгаром в Новом Сарае в 1360-е гг. появились оборонительные валы и рвы. В Булгаре они ограничили территорию овалом 2х2 км, в Новом Сарае –1,6х1,0 км [35, с. 30]. В центре Сарая аль-Джадид была большая площадь, окруженная с юга и востока огромными зданиями. От этого центра расходились к окраинам главные улицы, а от них – боковые, в целом сохраняя прямоугольную конфигурацию кварталов. Улицы, как правило, имели арыки. По валам вдоль арыков шли пешеходные дорожки, иногда мощенные битым кирпичом. Через арыки устраивались деревянные мостики на перекрестках и других местах [35, с. 31]. В юго-восточной части города, где планировка имела усадебный характер, улицы служили границами усадеб, которые в зависимости от направления улиц получали прямоугольную, квадратную или трапециевидную форму.

Пространственная структура золотоордынских городов в основном была линейной и простиралась по берегу Волги и Ахтубы на несколько, иногда десятки километров. Линейно-протяженные золотоордынские города имели квартально-уличную планировочную структуру. В центре городов формировались главные площади с Соборной мечетью, банями, дворцом хана или крупными усадьбами знати. Площади формировались перед главными фасадами общественных зданий. Городское благоустройство определялось мощением кирпичом, камнем и глиняной вымосткой площадей, устройством на них фонтанов и бассейнов, настилом деревянных тротуаров, мостов через овраги и арыки, функционированием систем водоснабжения и инженерной защиты городов от затопления и обвалов береговых склонов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров С.С. Монументальные каменные сооружения Волжской Булгарии и Казанского ханства. Опыт реконструкции и генетико-стилистические особенности. Дисс. на соискание уч. степени доктора архитектуры. – М., 1990.
2. Айдаров С.С. Исследование и реставрация памятников монументального зодчества Болгара // Город Болгар: Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
3. Айдаров С.С., Аксенова Н.Д. Великие Булгары. – Казань, 1983.
4. Баллод Ф.В. Приволжские Помпеи. – М.-П., 1923.
5. Баллод Ф.В. Старый и Новый Сарай, столицы Золотой Орды. – Казань, 1923.
6. Баранов В.С. Вопросы благоустройства города Болгара и их археологическое изучение // Город Болгар: Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
7. Березин И. Булгар на Волге // Ученые записки Казанского университета.1852. Кн.III. – Казань.
8. Бурханов А.А. Раскопки Больничного бугра на Селитренном городище // Поволжье в Средние века. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения Г.А. Федорова-Давыдова. – Н. Новгород: Изд-во НГПУ, 2001.
9. Гмелин С.Г. Путешествие по России для исследования трех царств природы. Ч. II. – СПб., 1777.
10. Город Болгар. Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
11. Гусева Т.В. Золотоордынский город Сарай ал-Джадид. – Горький, 1985.
12. Гусева Т.В. История изучения Нового Сарая // Вестник Московского университета. Серия: История, 1975, № 6.
13. Дворниченко В.В., Егоров В.Л., Яблонский Л.Т. Герман Алексеевич Федоров-Давыдов // Восток-Запад: Диалог культур Евразии. Проблемы истории и археологии. Вып. 2, 2001.
14. Егерев В.В. Архитектура города Болгара // МИА. – М., 1958, № 61.
15. Егерев В.В. Ближайшие работы по изучению и охране архитектурных памятников древних Болгар // Материалы по охране, ремонту и реставрации памятников ТССР. – Казань, 1927. Вып. 1.
16. Записки путешествия академика Фалька // Полное собрание ученых путешествий по России. Т. 6. СПб., 1824.
17. Зиливинская Э.Д. Раскопки богатого усадебного дома на Красном холме Селитренного городища // Поволжье в Средние века. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения Г.А. Федорова Давыдова. – Н. Новгород: Изд-во НГПУ, 2001.
18. Кафтанников Н.Н. Болгаре и развалины столицы сего народа // Заволжский муравей. – Казань, 1832. Ч. II, № 11, 16; Ч. III, № 19.
19. Кафтанников в изложении Л. Кавелина: Болгары // Иллюстрация. 1846, № 4/5.
20. Леопольдов А.Ф. Ахтубинские развалины // Журнал Министерства внутренних дел, 1837, Ч. XXIV, № 4.
21. Лепехин И. Дневные записки путешествия … по разным провинциям Российского государства в 1768 и 1769 гг. – СПб., 1771.
22. Михайлов А. Выписки с межевых книг на землю Успенского монастыря 1712 года. См.: Невоструев К.И. О городищах древнего Волжско-Булгарского и Казанского царств в нынешних губерниях Казанской, Симбирской и Вятской // Труды 1 Археологического съезда. – М., 1871, т. 2.
23. Муртазин Р.М. Черная палата. – Казань, 1953.
24. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства. – СПб., 1788, ч. 3.
25. Полякова Г.Ф. Археологическое исследование соборной мечети // Город Болгар: Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
26. Порфирьев С.И. Белая палата в Болгарах по рисункам альбома Чернецовых // ИОАИЭ. – Казань, 1915, т. XXXIX, вып. 1-3.
27. Риттих А.Ф. Материалы по этнографии России. Казанская губерния. Ч. 1. – Казань, 1870.
28. Рудаков В.Г. История изучения Селитренного городища // Российская археология, 2000, № 2.
29. Свиньин П.П. Развалины города Болгар // Картины России и быт разноплеменных ее народов. – СПб., 1839, ч. 1.
30. Смирнов А.П. Новые данные об исторической и социальной топографии города Великие Болгары // Города Поволжья в средние века. – М.: Наука, 1974.
31. Смирнов А.П. Волжские булгары // Труды ГИМ. – М., 1951, вып. XIX.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

32. Терещенко А.В. Четырехлетние археологические поиски в развалинах Сарая // Журнал МВД. 1847, кн. 9.
33. Тетеревников. О древних развалинах, находящихся на берегу Ахтубы в Саратовской губернии // Журнал Министерства государственных имуществ, 1842, ч. 8.
34. Федоров-Давыдов Г.А. Золотоордынские города. Керамика, торговля, быт. – М., 2001.
35. Федоров-Давыдов Г.А. Золотоордынские города. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
36. Федоров-Давыдов Г.А., Вайнер И.С., Мухамадиев А.Г. Археологические исследования Царевского городища (Новый Сарай) в 1959-1966 гг. // Поволжье в средние века. – М., 1970.
37. Хлебникова Т.А. Исследования центра города Болгара в 1964-70 гг. // Города Поволжья в средние века. – М.: Наука, 1974.
38. Хлебникова Т.А. История археологического изучения Болгарского городища: Стратиграфия. Топография // Город Болгар: очерки истории и культуры. – М., 1987. – С. 70.
39. Хованская О.С. Водоснабжение и канализация болгарской бани // КСИИМК, 1953, вып. 50.
40. Шарифуллин Р.Ф. Бани Болгара и их изучение // Город Болгар. Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
41. Шмит А. Архитектурные чертежи развалин древних Болгар. – М., 1827.
42. Шпилевский С.М. Древние города и другие булгаро-татарские памятники в Казанской губернии. – Казань, 1877.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.03 (470.40)

Г.Г. Нугманова – кандидат искусствоведения, ведущий научный сотрудник
E-mail: architec@mi.ru
Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук

ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ И АДМИНИСТРАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ И ОСМАНСКОЙ ИМПЕРИЯХ В ЭПОХУ МОДЕРНИЗАЦИИ*

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена сравнению систем регулирования архитектурно-градостроительных процессов в городах Российской и Османской империй в XVIII-начале XX века. В обеих империях идея европеизации городского строительства была привлекательна для властей и, начиная с определенного момента, признавалась и обществом. Однако власть и общество в Османской Турции воспринимали друг друга как единое целое в значительно большей степени, чем в России. Если в Российской империи, начиная с Петра I, власть рассматривала себя как источник европеизации всего остального общества, то в Османской она, скорее, хотела европеизироваться вместе с этим обществом. Данное обстоятельство объясняет тот факт, что хотя идеи урегулирования городского строительства проникли в обе империи примерно одновременно, но в форму законодательных и административных актов они были облечены в России значительно раньше, чем в Турции. Такая характерная для России форма европеизации, как законодательное внедрение образцовых проектов европейского происхождения, в Османской столице не отмечалась вовсе. Влияние европейской архитектуры на турецкую было также весьма значительным, но она никогда не внедрялась административными мерами. Османское законодательство основывалось на нормах ислама, согласно которым частная собственность имела приоритет над общественной. Это создавало большие затруднения в перепланировке городов в европейском духе регулярности и позволило сохранить даже в столице Османской империи традиционный уклад, отвечающий мусульманской концепции города.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Российская империя, Османская империя, архитектурно-градостроительная деятельность, система законодательного и административного регулирования, мусульманская концепция города.

G.G. Nugmanova – candidate of fine art, senior researcher
The Research Institute of the Theory and History of Architecture and Town Planning of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

THE LEGISLATIVE AND ADMINISTRATIVE REGULATION OF ARCHITECTURE AND URBAN ACTIVITIES IN RUSSIAN AND OTTOMAN EMPIRES IN THE ERA OF MODERNIZATION

ABSTRACT

The paper addresses the first comparative studies of the regulatory processes in the field of Architecture and Town planning in Russian and Ottoman Empires in the XVIII th – early XX th centuries. The idea of Europeanization of the urban space was attractive for both Empires. But the Authority and the Society in Ottoman Turkey were united to a much greater extent than in Russia. In Russian Empire since Peter I the Authority saw itself as a source of Europeanization of the rest Society, while the Turkey one would Europeanize together with the Society. The Russian Authority considered itself as a part of a Europe, while the Sultan's court referred itself to Turkey. Ottoman law was based on the norms of Islam, under which private property had priority over the public. This created great difficulties in the urban redevelopment in the European spirit of regularity and helped to preserve the traditional way of life in the capital of the Ottoman Empire fit with the Muslim concept of the city.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке совместного российско-турецкого гранта РФФИ-TUBITAK (проект № 09-06-91219 CT_a).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

KEYWORDS: Russian Empire, Ottoman Empire, architecture and urban activity, the system of legislation and administrative regulation, Muslim concept of the city.

Вопросы законодательного и административного регулирования архитектурно-градостроительной деятельности занимают ключевое место в предпринятом автором более широком фундаментальном исследовании процессов европеизации двух принципиально различных в отношении государственности групп поселений – городов Османской империи с одной стороны, и Волго-Уральского региона, находившихся в составе православной Российской империи, – с другой. Тюрко-мусульманский этно-конфессиональный культурный компонент этих городов обусловил особенности восприятия европейской урбанистической модели. Эта модель, служащая своего рода идеалом и образцом, дошла в отдаленные от центра европейского культурного ареала регионы в неоднократно отраженном и преломленном сквозь призму иных этнических и конфессиональных традиций виде и приобрела качественно иное состояние. В то же время различия культурно-политических ситуаций в империях привели к различным формам трансформации тюрко-мусульманской архитектурно-градостроительной традиции.

К концу XVII столетия Россия и Османская империя, представлявшие собой традиционные закрытые общества, испытывали экономическое и политическое отставание от передовых европейских стран. Перед обоими государствами встала настоятельная необходимость в интеграции в общеевропейское культурное пространство.

Модернизация России была объявлена волевым решением власти. Восемнадцатый век в России, начавшись с реформ Петра I, прошел под знаком всеобщей и всесторонней европеизации, которая в первую очередь коснулась архитектуры и градостроительства. Власть с решительностью и размахом, всегда отличавшими российских администраторов, внедряла европейские архитектурно-градостроительные нормы, основанные на принципах регулярности. Символом радикальных перемен стало создание новой столицы европейского типа. Во второй половине столетия, в период правления Екатерины II, усилия власти были сосредоточены на преобразовании российской провинции. Административно-территориальное переустройство империи предполагало основание новых городов и коренную реконструкцию старых. Российские поселения с европейским обликом должны были служить зримым доказательством приобщения империи к европейской культуре. Жесткость проводимой государством политики принесла свои результаты уже к концу столетия, когда значительное количество провинциальных городов буквально шагнули из средневековья в эпоху Нового времени, в то время как столичный Стамбул вплоть до середины XIX столетии сохранял традиционный уклад жизни, которому отвечала традиционная архитектурно-градостроительная среда. Широкомасштабные преобразования стали возможными исключительно благодаря централизованной государственной системе административно-законодательного регулирования и организации архитектурно-градостроительной деятельности в империи.

Первые на Руси государственные указы, регламентирующие строительную деятельность, были направлены на защиту Москвы от пожаров, поощрение каменного строительства и запрет деревянных построек в кремле и прилегающих районах [5, с. 11]. Хаотичность и теснота застройки в условиях частного владения участками стали причиной безуспешности первых попыток урегулирования улиц и площадей средневекового города. Европейские идеи регулярности были известны еще в допетровское время (геометрически правильную форму имели крепости и монастыри, регулярной планировкой отличались даже некоторые города XVII – начала XVIII века, как, например, Тюмень и Тобольск [там же]). Оживившиеся к концу XVII века торговые и дипломатические сношения с Европой способствовали ознакомлению и использованию пригодного в наших условиях зарубежного опыта градостроительства с его тенденцией к типизации обывательского жилищного строительства. Европейские города восхищали Петра, будущего первого российского императора, и его спутников, а также дипломатов и отправленных на обучение «пенсионеров». Голландские городки с каналами, застроенными небольшими домиками, немецкие средневековые «бурги» с громадными соборами, Версаль с его строгой регулярностью, грандиозным парком, фонтанами и стрижеными деревьями [9, с. 8] – все это будет вскоре воспроизведено в России через призму иных ценностных ориентиров, составив основу русского регулярного градостроения. Главной регулирующей силой стало основанное Петром I абсолютистское государство, заинтересованное в росте новых промышленных городов, крепостей и административных центров вновь учрежденных губерний и уездов [там же].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Подобно Петру был очарован Европой и Мехмет Челеби, в 1720 г. прибывший в Париж в качестве первого посла Османской империи с правительственным заданием изучить достижения в области промышленности и военного дела. Его впечатления от увиденного, подробно описанные в отчетах, не замедлили проявиться в архитектуре османской столицы, прежде всего в собственных резиденциях Мехмета паши. Особенно полюбившиеся французские регулярные сады украсили гаремы султанских дворцов, а версальские фонтаны вдохновили на устройство городских общественных фонтанов – новый для османской культуры тип общественных сооружений, с устройством общественного пространства (fountain meydani) вокруг них [4]. Так османы впервые подошли близко к идее специальной организации городского пространства, чуждой для мусульманской градостроительной традиции, не знавшей площадей, кроме базарных, которые всегда появлялись стихийно. Европейские формы рококо и барокко украсили джами мечети знати, сложившиеся своей архитектурой в классический период Османской империи [4]. Таким образом, элементы европейской архитектурной культуры с небольшим запаздыванием от России стали проникать и в турецкую столицу.

Однако, турецкие власти, используя новые элементы культуры для себя, не ставили целью их повсеместное распространение и, тем более, не ставили целью внедрение средствами административно-законодательного давления. Османское общество продолжало жить в соответствии с традиционным укладом жизни, так же, как и власть, считавшая себя частью этого общества. Модернизировалась империя с помощью приглашенных европейских специалистов. Вынужденное реформирование прежде всего коснулось военной области, вызвав волну строительства солдатских казарм, которые стали выступать символами этой модернизации. Со второй половины XVIII столетия такими символами являлись европейские промышленные предприятия, полностью основанные на собственных технологиях и даже профессиональных кадрах. Район крепости Галата на северном берегу залива Золотой Рог стал местом сосредоточения европейцев и европейской культуры. По другую сторону залива на Стамбульском полуострове господствовало турецкое общество во главе с султаном и с традиционной структурой управления [2, 4].

Традиционная османская административная система была децентрализована. Все социальные программы, касающиеся здоровья, образования, социальной безопасности, находились в руках автономных сообществ – милетах, этнических группах, гильдиях, религиозных орденах. В исламе религиозная и административная функции не разделялись. Первым лицом в системе был главный визирь (grandvizier), которому подчинялись кадии (kadis), исламские судьи, которые и обладали реальной властью в городах. Именно они выполняли множество городских функций, в том числе контроль в области строительства. Регламентация городского строительства впрочем ограничивалась определением ширины улиц и высоты зданий. На более низком уровне кадиям подчинялись наибы (naibs), возглавлявшие общества на квартальном уровне, и имамы (imams) – главные лица в махаллях [7]. Традиционная административная структура продолжала сохраняться вплоть до середины XIX столетия, когда новые законодательные реформы открыли путь к созданию городских администраций западного типа. Но даже и тогда реформы коснулись лишь столицы, а также привлекательных для европейского рынка приморских и промышленных городов, таких как Измир и Бурса [1, 3].

В отличие от Османской империи в России европеизированная элита считала необходимым европеизировать всю страну. Символом модернизирующейся России стал Санкт-Петербург, новая имперская столица, созданная по европейскому образцу. Небывалая для своего времени задача застройки города по единому плану, в короткие сроки, в тяжелых природных условиях, при нехватке строительных материалов и квалифицированных кадров потребовала не только сосредоточения руководства всем строительным процессом в руках государства, но и выработки новых приемов и методов организации архитектурно-строительной деятельности.

Практическое осуществление проектов регулярной планировки застройки городов, начиная с петровского времени, возлагалось на специальные государственные строительные органы – Канцелярии, а затем Комиссии, первая из которых была создана в 1706 г. для проектирования новой столицы – Петербурга. Комиссии претворяли в жизнь принцип регулярности, ставший основным принципом всего государственного управления. Совместно с полицией они контролировали соблюдение застройщиками правил регулярного строительства [5, с. 14; 9, с. 8-9]. Во второй половине столетия, в период правления Екатерины II, усилия власти были сосредоточены на преобразовании российской провинции. Основанием послужил Указ Екатерины II «О сделании всем городам, их строению и улицам специальных планов по каждой губернии особо».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Созданная при Сенате Комиссия строений Санкт-Петербурга и Москвы развила опыт, выработанный в ходе строительства новой столицы, с единообразием в приемах проектирования и широким использованием образцовых проектов, в первую очередь в области наиболее массового частного строительства. За короткий период ее деятельности было разработано более 300 планов городов [5, с. 61]. К началу XIX в. все губернские центры имели европейский облик. Началась интенсивная работа по урегулированию уездных городов, часть которых была назначена из сел. Государственная задача по пересозданию среды исторических городов и созданию новых завершилась к середине столетия. Разработка планов городов во второй половине XIX-начале XX века ставила своей целью закрепление достигнутого в предшествующий период [6, с. 211]. Образцовые проекты, отступление от которых в законодательном порядке было запрещено, служили средством контроля со стороны государства архитектурного облика городов и внедрения в русскую культуру европейских художественных норм и вкусов. Они продолжали выполнять эту роль и в XIX столетии вплоть до окончательного придания европейского вида самым заштатным городам империи. Они охватывали все более широкий типологический круг сооружений, стилистически соответствовали последовательно сменявшим друг друга европейским течениям барокко, классицизму и эклектике [8]. Работы по европеизации российских поселений возглавляло государство в лице императора и элиты, а на местах – подчинявшиеся им губернаторы. Для перепланировки городов в помощь губернаторам из столиц присылались архитекторы. В 1782 г. по указу Сената в штат наместнических правлений были введены государственные должности губернских архитекторов. В XIX в. губернаторам подчинялся целый штат архитекторов – губернских, городовых, земских, епархиальных, а также различных ведомственных округов. Все они были представителями русской архитектурной школы, основу которой заложили обучавшиеся за границей петровские пенсионеры.

Таким образом, модернизация России к середине XIX столетия была завершена. Преобразованные российские поселения в первую очередь создавали ее имидж европейской державы, декларированный еще Екатериной II.

В османской столице процессы преобразования в этот период только начинали развертываться. В 1839 г. были объявлены новые административно-законодательные реформы, известные как реформы Танзимат. Специального органа, отвечающего в империи за строительную деятельность, не существовало. Лишь в 1831 г. была учреждена должность финансового смотрителя за имперскими зданиями и организована Контора по содержанию имперских зданий (Office of Imperial buildings), полномочия которой в 1849 г. перешли к Министерству общественных работ. Деятельность по городскому обновлению осуществлялась с помощью европейских советников и специалистов, а примерами для подражания послужили европейские столицы, такие как Париж или Берлин [2, 4].

Разработанный в 1835-1839 гг. советником султана, прусским подданным Хельмутом ван Мольтке план Стамбула стал первым в истории империи опытом планирования городского пространства. Проект предполагал реконструкцию существующей планировочной структуры старого Стамбула в пределах городских стен. Назначенные планом главные улицы Divan Yolu-Beyazit-Aksaray-Silivri Capi и Beyazit-Edirne Capi повторяли трассировку главных дорог средневекового города, новые оси прокладывались вдоль берегов Мраморного моря и Золотого Рога, которые связывались поясом, проложенным у подножия городских стен от Edirne Capi до бухты. План, однако, в основном сохранял существующую планировочную структуру, ограничиваясь расширением ряда улиц и устройством площадей. С организацией площади перед мечетью Ая-София и появлением на ней первого здания университета, украшенного мощным колонным портиком, старый Стамбул впервые обрел новые европейские черты [4] . Однако перестройки в старом городе в основном были были произведены лишь после пожаров 1850-60-х гг. Только тогда главная городская артерия – Divan Yolu приобрела ширину в 7,5 метров вместо 14, предположенных планом Молтке. Впервые в градостроительной истории города пересечение двух улиц было оформлено восьмиугольной в плане площадью – Aksaray Meydani, отмеченной мечетью Валиди. Прямые широкие улицы с каменными домами по сторонам были символами новой цивилизации в процессе обновления района султанского дворца Торсаре. Наиболее ярким образцом модернизирующего Стамбула стала знаменитая по роману Агаты Кристи европейская железная дорога – Восточный экспресс, прошедшая под стенами султанского дворца, с зданием железнодорожного вокзала в Sirkeci. Символично, что под их строительство были отданы личные владения султана Абдулазиза. Это частичное разрушение наиболее значимого памятника Оттоманской империи продемонстрировало готовность правителя к жертвам во имя прогресса и будущего империи [4].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Наиболее полное воплощение европейской урбанистической модели получил лишь один из муниципальных районов Стамбула – Pera у крепости Галата, наделенный особым экономическим статусом и западной системой административного управления. Здесь изначально за образец городского развития был взят район Sixieme Arrondissement в Париже. Подобно европейским столицам были разобраны стены крепости Galata, устроены площади и проложены новые улицы, среди которых выделялась Grand Rue de Pera, разбиты первые в городе публичные сады и парки, построен подземный тоннель, ставший ровесником парижского метро. Возведенное здесь муниципальное здание было первым в Османской Турции. Район являлся местом проживания иностранных послов, иностранцев и нового класса буржуазии из христианского меньшинства города. Однако даже в этой части города не все европейские градостроительные идеи получали свое воплощение – задуманная в центре Pera грандиозная площадь с радиально расходящимися от нее улицами так и осталась амбициозным замыслом французских архитекторов [2, 4].

Подобная индифферентность общества к регулярным городским пространствам заставляла турецкие власти оставлять без внимания многие радикальные градостроительные предложения европейских советников, и они более охотно следовали их советам, когда речь шла об отдельных зданиях. Разработанные планы представляли собой западный продукт. Нехватка средств, всякого рода нарушения, как, например, незаконный захват общественных территорий, не осуждаемый исламским законом, приводили к тому, что тюрко-мусульманские пользователи практически сразу меняли эти планы. Городские пространства – улицы и площади не планируются, а являются поведенческим продуктом, создаются жизнью. Восприятие пространства на городском уровне отсутствовало в традиционном исламском обществе, в котором человек осознавал себя лишь членом маленькой социальной группы горожан, проживающих в квартале – mahalla.

В 1848 г. впервые была разработана система регламентации застройки (Ebniye Beyannamesi, Declaration on Buiding Construction). Регламентации подлежали материал и высота зданий, но не художественный стиль [2, 4], как это было в российской империи, где барокко, классицизм и эклектика внедрялись государством с помощью образцовых проектов. Эта тенденция сохранялась в Стамбуле на протяжении всего XIX столетия, несмотря на рост числа регламентирующих положений, носящих в основном противопожарный характер. Тем самым город в основном сохранял свой традиционный архитектурный облик, и лишь в отдельных сооружениях, в основном общественных, возведенных на средства государства, отражались европейские стилистические течения.

Сравнивая Османскую и Российскую империи можно отметить следующее. В обеих империях идея европеизации городов была весьма привлекательна для властей и, начиная с определенного момента, признавалась и обществом. Однако в отношении этой идеи можно отметить ряд важных различий. Власть и общество в Османской Турции воспринимали друг друга как единое целое в значительно большей степени, чем в России. В частности, если в России, начиная с Петра I, власть рассматривала себя как источник европеизации всего остального общества, то в Турции власть скорее хотела европеизироваться вместе с этим обществом. Иначе говоря, если в оппозиции Европа-Россия российская власть считала себя частью Европы, то в оппозиции Европа-Турция султанский двор относил себя, скорее, к Турции. Данное обстоятельство объясняет тот факт, что в Турции законодательные и административные акты, связанные с урегулированием городского строительства, появились значительно позднее, чем в России. Идеи регулярности проникли в Россию и Османскую Турцию примерно одновременно, однако в законодательные и административные формы они были облечены в Российской империи значительно раньше, чем в Османской. А такая характерная для России форма европеизации, как законодательное внедрение образцовых проектов европейского происхождения, в Османской столице не отмечается вовсе. Это не значит, что европейская архитектура не влияла на турецкую, такое влияние было весьма значительным, но оно никогда не облекалось в административные формы.

Один из основных конфликтов в процессе европеизации, как в Российской, так и Османской империях, можно охарактеризовать как противостояние традиционного патриархального уклада вовлечению свободного населения в общественную и массовую производственную деятельность. Архитектурным выражением патриархального уклада всюду являлись частные усадьбы, окруженные забором, скрывавшим жизнь семьи от посторонних взглядов. Общественная и производственная деятельность требовала развитой системы общественных и производственных зданий, связывающих их улиц и площадей. Если в патриархальном обществе основная жизнь человека протекает в закрытом пространстве, в окружении домочадцев, то в развитом обществе европейского типа она выносится на улицы и площади, в здания мэрий, парламентов и фабрик. Если градостроительным

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

выражением патриархального общества является система узких улиц и переулков, переходящих в тупики, заканчивающиеся калитками или воротами глухих усадебных заборов, то европейский город – это (в идеале) правильная система широких улиц, проспектов и площадей, на которые выходят своими фасадами как общественные, так и жилые здания.

В России переход к такому городу был совершен посредством законодательных и административных решений. Разумеется, этот переход не был моментальным, еще долгое время во многих российских городах жилые дома ставились в центре участков, а на улицу смотрели своими фасадами службы, которые своим видом должны были создать впечатление, что все требования властей выполнены. В Стамбуле аналогичные решения были приняты только в середине XIX в. Однако даже и в это время осуществлялись они с трудом. Этому способствовало и то обстоятельство, что турецкое законодательство было основано на нормах ислама, согласно которым частная собственность имела приоритет над общественной. Это создавало большие затруднения в перепланировке городов в европейском духе регулярности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bilsel, Cana. The Ottoman Port City of Ismir in the 19th Century: Culture, Modes of Space, Production and the Transformation of Urban Space // 7 Centuries of Ottoman Architecture. A Supra-National Heritage. Istanbul. Yem. 1999. – P. 225-233.
2. Celik, Zeynep. The Remaking of Istanbul. Portrait of an Ottoman City in the Nineteenth Century. Seattle and London. University of Washington Press, 1986.
3. Dostoglu, Nislihan and Oral, Elif. The Physical Transformation of the Ottoman Capital of Bursa // 7 Centuries of Ottoman Architecture. A Supra-National Heritage. Istanbul. Yem. 1999. – P. 234-243.
4. Kuban, Dogan. Istanbul. An Urban History. Istanbul. Yem, 2003.
5. Белецкая Е., Крашенинникова Н., Чернозубова Л., Эрн И. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII-XIX вв. – М., 1951.
6. Градостроительство России середины XIX-начала XX века / Под общей ред. Е.И. Кириченко. – М.: Прогресс-Традиция, 2001.
7. История Османского государства, общества и цивилизации / Под общей ред. Э. Ихсаноглу. – М.: Издательская фирма «Восточная литература» РАН, 2006.
8. Нугманова Г.Г. Образцовые проекты в жилой застройке Казани // Памятники культуры. Новые открытия. Наука. – М., 2006. – С. 583-599.
9. Ожегов С.С. Типовое строительство в России в XVIII-XIX веках. – М.: Стройиздат, 1984.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 726.7; 728.81
А.Н. Хабибуллин – аспирант
E-mail: almaz-hab@mail.ru
Институт истории им. Ш. Марджани Академии наук Татарстана

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ И МНОГОКОМПОНЕНТНОСТЬ В ФОРТИФИКАЦИИ КАЗАНСКОГО КРЕМЛЯ (второй половины XVI – первой трети XVIII вв.)

АННОТАЦИЯ
Статья посвящена выявлению и анализу элементов преемственности и многокомпонентности в архитектуре оборонительных сооружений казанской крепости. В исследовании рассматриваются влияния булгарской, золотоордынской, итальянской, русской и других культур на фортификацию Казанского кремля.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: казанская крепость, фортификация Казанского кремля.

A.N. Khabibullin – post-graduate student
Institute of History of the Academy of Sciences of the republic of Tatarstan

CONTINUITY AND MULTICOMPONENTION IN FORTIFICATION OF THE KAZAN KREMLIN (the second part of XVI century – the first thirds part of XVIII century)

ABSTRACT
Article is devoted to revealing and the analysis of elements of continuity and multicomponention in architecture of defensive works of the Kazan fortress. The influences of Bulgar, Golden Horde, Italian, Russian and other cultures on fortification of the Kazan Kremlin are considered it research.
KEYWORDS: the Kazan fortress, the fortification of the Kazan Kremlin.

Казанская крепость – одна из жемчужин исторического наследия долговременной фортификации. Архитектура Казанского кремля объединила в себя передовые идеи булгарской, татарской, итальянской и русской культур[1], а также финно-угорских и других народов. На первый взгляд, Казанский кремль – продукт русской архитектуры второй половины XVI-XVIII вв. Однако, при более глубоком рассмотрении развития крепости с древнейших времен Казань предстает перед нами реконструированной резиденцией булгарских и татарских правителей. Первична ее градостроительная структура, ландшафтная привязка, композиционная идея и типология объектов, заложенные изначально при строительстве крепости булгарами и впоследствии развитые золотоордынскими татарами [21].

До конца XX века исследователи лишь косвенно затрагивали вопросы преемственности при рассмотрении отдельных объектов кремля. Считалось, что крепость относится к русской культуре, а к военной архитектуре других народов не имеет никакого отношения. Например, А.Х. Халиков при исследовании башни Сююмбике рассматривал параллели между башней Сююмбике и более ранней ее предшественницей. В конце XX века в кремле начались полномасштабные научные исследования, которые не только обозначили период образования города, но и выявили его первичные характеристики, которые были изначально заложены основателями Казани. Впервые вопросы преемственности Казанского кремля к татарской культуре глубоко были затронуты Н.Х. Халитовым в конце 90-х годов [20]. Именно его научное обоснование легло в основу принятия Казанского кремля в Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО в 2000 г. с формулировкой «единственная сохранившаяся татарская крепость»[2]. Вопросы преемственности отражены также в концепции музеефикации и развития Государственного историко-архитектурного и художественного музея-

[1] Возможно, существуют иранские, османские, арабские, сельджукские и др. влияния, но они пока не выявлены и требуют дополнительных исследований.
[2] № 980 в списках Всемирного наследия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

заповедника «Казанский Кремль»[3]. Что касается многокомпонентности[4] различных культур на архитектуру казанской крепости, то этот вопрос также широко был рассмотрен при подготовке к празднованию 1000-летия города[5].

Однако что же является в фортификации казанской крепости булгаро-татарским, а что принадлежит русской культуре, а возможно и иным влияниям? Какие свойства были заложены в крепости еще с древнейших времен и были использованы позднее при реконструкциях или инженерных работах?

Сразу хотелось бы оговориться, что данная публикация находится на начальной стадии исследования. Она затрагивает не все элементы преемственности и многокомпонентности. В будущих работах эти вопросы будут дополняться вновь выявленными материалами.

Изначально необходимо определить временные рамки исследуемого вопроса. Развитие казанской крепости можно разделить на следующие периоды:

1. ***Булгарский*** или ***домонгольский*** период (X-XIII века);
2. ***Золотоордынский*** период (XIII- XV века);
3. Период ***Казанского ханства*** (пер. пол. XV-пер. пол. XVI вв.) (рис. 2);
4. Крепость ***в составе Русского государства*** (втор. пол. XVI-начало XVIII вв.) (рис. 6);
5. ***Губернский*** период (начало-пер. треть XVIII вв.)[6].

При рассмотрении преемственности фортификации Казанского кремля второй половины XVI – начала XVIII вв. выделяются шесть основных факторов:

1. Булгарская градостроительная традиция и фортификационное строительство;
2. Влияния Золотой Орды;
3. Постзолотоордынское искусство и другие компоненты во время Казанского ханства;
4. Влияния итальянской фортификационной системы;
5. Русские влияния;
6. Другие влияния.

Булгарские элементы преемственности. Одним из наглядных факторов преемственности крепости русского времени по отношению к более ранним булгаро-татарским крепостям является функциональное зонирование территории крепости[7], заложенное еще с булгарских времен X века (рис. 1). Территория крепости изначально имела типологическую функцию резиденции правителей Казани. Т.е. крепость имела оборонительный периметр, а также укрепленный арк – цитадель правителя. Также в крепости находились все вспомогательные службы и гвардия правителя, которые имели свои взаимосвязи в расположении и композиционной идее всего оборонительного комплекса. Эти все функции, заложенные еще с X-XI вв., существуют и по сей день, и Казанский Кремль является резиденцией Президента РТ. В крепости изначально и сейчас находятся главные духовно-конфессиональные центры, сегодня это мечеть Кул-Шариф и Благовещенский собор.

Другим немаловажным фактором является сетка основных улиц, которые и до сих пор в основном не изменили свою трассировку. Главный торжественный въезд правителя осуществлялся с южной стороны крепости через Ханские ворота во время Казанского ханства или через Спасские ворота кремля в русский период. И, пожалуй, самым древним в кремле остается и по сей день проезд от Спасских ворот до ворот в Президентский дворец, сегодня это проезд Шейнкмана. Изначально въезд в булгарскую крепость осуществлялся через главные ворота, установленные на рву Тазик, т.е. на этой же магистрали.

---

[3] Архив М-З «Казанский Кремль», оп. 1, кн. 2, дела 1092-1097.

[4] Под многокомпонентностью имеется ввиду национальный компонент влияния различных культур.

[5] О формировании и взаимовлияниях в татарской архитектуре см. например: Айдаров С.С. Архитектурный рационализм национальной Республики Татарстан: раскрытие истоков и концепция современного отражения; Халит Н.Х. Казанский кремль на перекрестке культур и эпох // Региональные и национальные аспекты в архитектуре: наследие и перспективы. – Казань, 2003. – С. 17-37, 59-68.

[6] Хронологические рамки исследования ограничиваются строительством крепости булгарами на рубеже X-XI вв. и до первой трети XVIII века, т.е. до момента прекращения развития казанской крепости как оборонительного объекта и сноса посада Казани.

[7] Возможно, что казанская крепость изначально была караван-сараем. В Волжской Булгарии, скорее всего, применялись правильные формы в планах караван-сараев и в культовых зданиях, имевших также оборонительные функции. Достаточно упомянуть соборную мечеть в Булгарах или мечеть в Алабуге (Елабуге), а также Малый городок в Болгарах, который был караван-сараем [3, с. 261-294]. Казань географически удачно расположенная на одном из торговых путей вполне могла возникнуть как укрепленный караван-сарай.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Золотоордынские элементы преемственности. Крепость в этот период продолжает нести функцию пограничной крепости, а также, вероятно, являлась ставкой золотоордынского наместника. Укрепления в Казани в этот период существовали и подновлялись [16, с. 69] и просуществовали в неизменности до начала XV века [17, с. 21]. Начиная с монгольских завоеваний, тактика осады крепостей в XIII в. приобретает активный характер. Повсеместно начинают использоваться осадные машины. Против их подкатки к крепостным стенам подходы к крепостям начинают заболачиваться. Примеров инженерно-гидрологических работ в казанской крепости несколько. Во-первых, протока Булак. Пока не доказано, но есть мнения, что русло Булака искусственное, которое позже было укреплено деревянными откосами [19, с. 89]. Фортификационно объяснимо функциональное действие возможного искусственного канала, который служил водной преградой между кремлевским холмом и заливным прилегающим лугом с западной стороны крепости в золотоордынское время[8]. Можно также предположить, что и рукав Казанки был искусственно завернут в сторону крепости, образуя петлю и создавая дополнительную преграду с северо-восточной стороны.

Возможно, в золотоордынское время в казанской крепости появился Большой ров (Олуг ор). Он возник в качестве препятствия для подкатки осадных орудий. Остатки рва были прослежены в 1934 году во дворе Горсовета и конце 40-х годов XX века в 25 м от кремлевской стены. Ров существовал также в XVIII веке, а в конце XVIII-начале XIX веков его частично засыпали [22, с. 97].

По мнению А.Х. Халикова, посад доходил до современных улиц Чернышевского и Кремлевской (Ленина) [9, с. 23]. Возможно, что именно с современной улицы Чернышевского начиналась многоступенчатая система обороны, состоящая из нескольких рядов дерево-земляных укреплений.

Возможно, в золотоордынское время появляется также в казанской крепости кяриз – система подземного водоснабжения (рис. 6)[9]. Казанский кяриз, скорее всего, представлял собой горизонтальный водоносный канал, пополняемый водой за счет подпочвенных вод. К каналу спускались вертикальные шахтные колодцы. При такой системе была возможность использования диверсионных нор, которые применялись для внезапных атак. Эти норы являются одним из элементов, который был у татар и которого не было в фортификации русских крепостей. После падения Казани в 1552 году, возможно, кяриз эксплуатировался до XVIII века. Об этом говорит название Тайницкой башни, которое подразумевает нахождение в ней или рядом с ней подземного тайника. После XVIII века кяриз завалился и наружу пробил ключ, который использовался до конца XIX века. Таким образом, этот элемент преемственности еще раз показывает древнюю историю казанской крепости.

Итальянские влияния (итальянизмы). Одной из слагающих архитектуры Казанского кремля явились итальянские влияния. Причем, говоря об итальянизмах, необходимо разделить две школы и два периода, которые отразились в фортификации казанской крепости. Это генуэзское влияние в период правления династии Гиреев в первой половине XVI в. и ломбардско-миланские[10] влияния в рамках псковской школы во второй половине XVI-начале XVII веков с реконструкцией кремля после падения Казанского ханства.

1. Генуэзское влияние можно проследить по сохранившемуся основанию «Северной» ханской башни (рис. 5). Пропорциональный анализ сохранившейся части указывает на присутствие в Казани инженеров-генуэзцев или обученных на их постройках татарских мастеров[11]. Архитектура «Северной» ханской башни сходна с архитектурой крепостных башен Кефе и Таракташа (Судака). Характер сохранившейся частичной планировки «Северной» башни аналогичен планировке Доковой башни Кефе татаро-турецкого периода. На плане этой прибрежной башни мы видим такие же углубления в основных стенах для бойниц, какие есть в «Северной» башне. Кладка казанских построек, скорее, схожа с южноитальянскими.

2. Другим этапом влияния итальянцев можно назвать ломбардские влияния в рамках псковско-московской школы, элементы которой, несомненно, были введены в архитектуре реконструированной крепости после падения Казани в 1552 году[12]. Ломбардские влияния, которые нашли свое отражение в архитектуре русских крепостей XV-XVI вв. и монастырей, проявились и в Казани. Итальянцы были

[8] Известно, что татары использовали подобный же вид линейной обороны в крепости Ор-Капусы (Перекоп).

[9] По вопросу водоснабжения автором подготовлена отдельная публикация «Кяриз казанской крепости начала XVI в.», которая находится в печати.

[10] В русской литературе также упоминаются названия: «ломбардско-венецианский», «византийско-итальянский» и «фряжский» [2, с. 135-142].

[11] По Северной башне автором готовится отдельная публикация.

[12] По мнению Н.Х. Халитова, влияние ломбардцев могло отразиться ранее в период правления казанских ханов касимовской династии. Одним из возможных элементов на этот период мог быть так называемый «ласточкин хвост», который мог появиться на ограде ханского двора.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

приглашены Иваном III [10, с. 51] и работали в Московском государстве до 30-х годов XVI века, построив около 10 каменных крепостей [11, с. 12-13]. Возможно, что после 1530-х годов в русском государстве действовало несколько строительных артелей, в задачи которых входило строительство и реконструкция крепостей. Эти артели, вначале работая с итальянцами, обучились их приемам [10, с. 212; 4, с. 40]. Характерно отметить несколько моментов итальянского влияния в фортификации, интерпретированных псковской строительной артелью в Казани.

А. Регулярная планировка. Южная регулярная часть Казанского кремля возведена в соответствии с обязательными регламентированными правилами возведения русских крепостей. Эти правила были введены в практику в связи с применением новейшей артиллерии и строго контролировались Приказами, начиная с XV века и вплоть до XVII века. Они предписывали ряд правил: прямизну стен, соблюдение одинакового расстояния между крепостными башнями и т.д. А главным было приведение формы крепостей в более рациональную планировку для использования их пространства и удобства обороны. Однако эти правила распространились на небольшие по площади кремли, в то время как крепостям, занимающим более обширные пространства (и тем более к новоземельным городам Московского государства), относились более лояльно, если этого требовал рельеф местности [13, с. 35]. Это коснулось и Казанского кремля, который в связи с частичным применением правил регламентации приобрел свою новую форму. С северной стороны мы видим преемственность расположения укреплений в соответствии с существующей топографией, а с южной стороны – применение на практике приказных строительных регламентированных правил.

Б. Одним из нововведений итальянцев было то, что новые крепости могли иметь одновременно как круглые (многогранные), так и прямоугольные или квадратные башни [11, с. 15]. Надо заметить, что в Казанском кремле имелись квадратные и круглые башни, а также многогранная башня, имеющая форму неправильного пятигранника. Если мы посмотрим схему на уровне бойниц подошвенного боя, то увидим заполнение всех пространств вокруг крепости фланкирующим огнем (рис. 3).

В. По мнению Л.А. Беляева, в русских кремлях этого же времени начинают появляться каменные машикули [11, с. 15]. Однако, как известно, каменные машикули были применены впервые арабами, а позже заимствованы французами и итальянцами [24]. Широко известно также об арабском посольстве из Багдада конца X века, которое прибыло в Волжскую Булгарию для строительства соборной мечети и крепости. Поэтому этот элемент мог возникнуть у булгар еще в домонгольский период. Сегодня на стенах Казанского кремля нет машикуль, но об их существовании известно по нескольким сохранившимся изображениям.

Г. В этот период в русских крепостях [10, с. 212], в том числе и в казанской крепости, появляются печуры с внутренней стороны куртин и в крепостных башнях. В печурах для огнестрельных пушек устраиваются бойницы подошвенного боя [11, с. 16].

Д. В конструкциях квадратных башен русских крепостей появляются сводчатые перекрытия [12, с. 126]. В частности, коробчатые своды нашли свое отражение в архитектуре двух ворот Казанского кремля: Спасской и Тайницкой. Есть своды также в верхних ярусах башни оберкомендантского дома или так называемой башни Сююмбике, построенной в начале XVIII века.

Е. В это же время в казанской крепости, как и в русских крепостях [11, с. 16], появляются окнообразные бойницы.

Ж. Разделительный валик между цоколем и плоскостью крепостных стен [11, с. 16]. Стены Казани первоначально имели кирпичную облицовку в виде талуса или отлогости[13]. Но позднее этот фортификационный элемент, препятствующий подкопам и амортизирующий удары ядер о стену, был утрачен [1, с. 39]. «Выпрямление» стен произошло при реконструкции кремля в 1833-1893 годах [8, с. 70].

И. Ласточкины хвосты. Теперь коснемся символики на оборонительных стенах и башнях, а именно так называемых «ласточкиных хвостов» или гибеллин. Этот элемент, выполненный из кирпича, сегодня присутствует на завершениях казанских кремлевских стен и Консисторской башне[14] между бойницами верхнего боя. По мнению некоторых исследователей, «ласточкины хвосты» появились в Казанском кремле в начале XVIII века [1, с. 40], когда крепость реконструировали для существования в ней резиденции правителя Казанской губернии. Именно в этот период появляются башня Сююмбике, кирпичные надстройки Спасской и Тайницкой башен, а также обкладка и надстройка многих стен.

[13] Талус – (лат. talus) – каменная наклонная крепостная стена, являвшаяся хорошей защитой от подкопов и ударов стенобитных орудий; также название отлогости [7, с. 111].
[14] «Ласточкины хвосты» появляются на Консисторской башне при реставрации в 1984 году.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

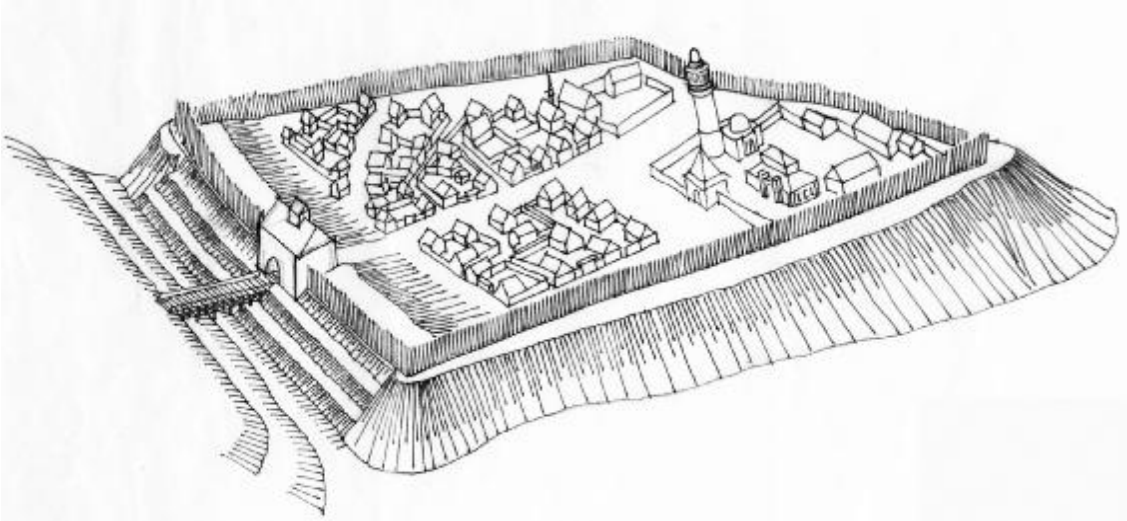


Рис. 1. Казанская крепость в X-XIII вв. (реконструкция автора)

Рис. 2. Казанская крепость первой половины XVI века
(реконструкция Н.Х. Халитова и А.Н. Хабибуллина)

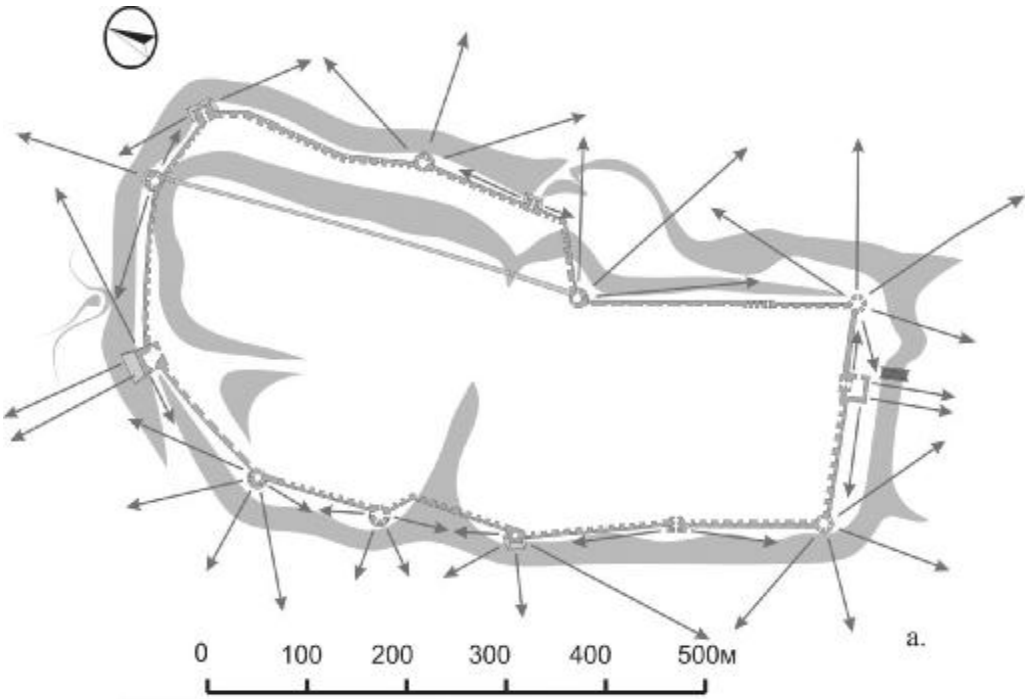


Рис. 3. Схема комбинации различной формы башен в Казанском кремле
(схема с указанием зон обстрела фланкирующим огнем на уровне бойниц подошвенного боя)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

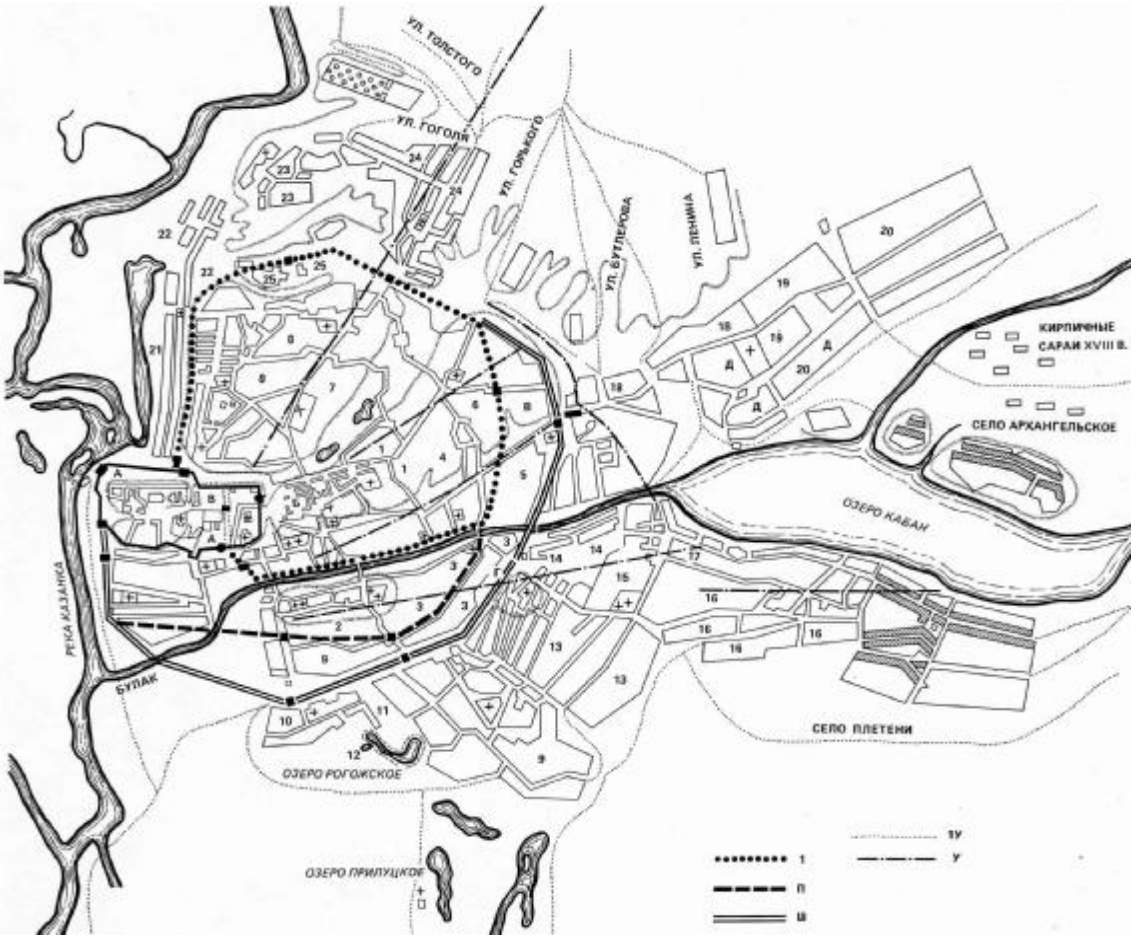


Рис. 4. План Казани XVI-XVIII вв. (по Н.Ф. Калинину): I – острожные стены XV-XVI вв. до 1560-х годов; II – острожные стены Забулачья второй половины XVI в.; III – острожные стены XVII и XVIII вв.; IV – дороги XVIII в.; V – современные улицы; А – кремль; Б – гостиный двор; В – татарские кладбища XV-XVII вв.; Г – Кураишева слобода первой половины XVI в.; Д – армянская слобода первой половины XVI в.; 1 – посад XVI в.; слободы: 2 – Архиепископская, XVI в.; 3 – Преображенская, XVI в.; 4 – Стрелецкая Вешнякова, XVI в.; 5 – Новая, с 1560-х годов; Богоявленская, XVII в.; 6 – Стрелецкая Третьяка Мертвого, XVI в.; 7 – Стрелецкая Хохлова, XVI в.; 8 – Стрелецкая Субботы Чаадаева, XVI в.; 9 – Ямская, XVI – XVIII вв.; 10 – Мокрая, XVII-XVIII вв.; 11 – Рогожкина XVII-XVIII вв.; 12 – Бутырская XVII-XVIII вв.; 13 – Сотенная, XVII-XIX вв.; 14 – Панская, XVII-XVIII вв.; 15 – Тихвинская, XVIII-XIX вв.; 16 – Старая Татарская, XVI-XIX вв.; 17 – Новокрещенская, XVII-XVIII вв.; 18 – Кирпичная, XVII-XVIII вв.; 19 – Гаврилова, XVII-XVIII вв.; 20 – Суконная, XVIII-XIX вв.; 21 – Засыпкина, XVII-XVIII вв.; 22 – Нижнефедоровская, XVII в.; 23 – Верхнефедоровская, XVII-XVIII вв.; 24 – Красная, XVII-XVIII вв.; 25 – Куликова, XVIII в.

Рис. 5. «Северная» башня татарской крепости первой половины XVI в. (реконструкция автора)

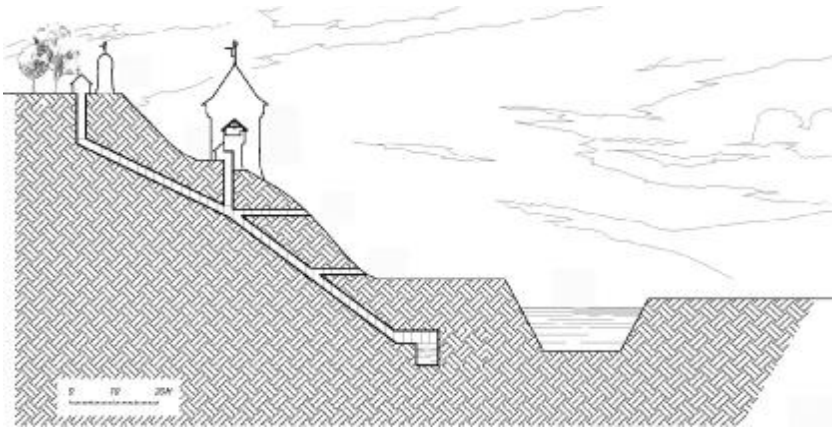


Рис. 6. Кяриз-тайник казанской крепости середины XVI века (реконструкция автора)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Немаловажным вопросом является строительство казанских стен и башен с применением кирпича. Некоторые исследователи считают, что кирпич в стенах начали применять в начале XVIII века, когда Казань готовили в качестве правителя Казанской губернии[15]. Однако, если заметим, Казань является аналогичной по строительной технике крепостью, схожей с крепостями Московского государства на рубеже XV-XVI вв. Именно в этот период, после так называемой пороховой революции [11, с. 15] в Московском государстве, начинается новое строительство крепостей с привлечением итальянцев, преимущественно ломбардцев. Крепости XV-XVI вв. Тулы, Зарайска, Коломны, Нижнего Новгорода и др. построены из кирпича или с кирпичной облицовкой изначально. Это говорит о том, что возможно казанские оборонительные сооружения были построены с применением кирпича уже в конце XVI-начале XVII веков, в так называемый второй этап строительства кремля.

Русские влияния. Русские влияния отразились во второй половине XVI-XVII вв. с помощью итальянской школы, и в начале XVIII в. В этот период были надстроены кирпичом некоторые башни, а также возведена так называемая башня Сююмбике[16]. Она была выстроена в конце XVII-начале XVIII века [1, с. 40], как парадный въезд в стиле московской архитектуры. По своей стилистике она схожа с Мостовой башней в Измайлово, Боровицкой башней Московского кремля или с Сухаревской башней. Однако и в башне Сююмбике мы можем увидеть элементы преемственности к татарской культуре. Изначально башня не имела определенного названия и именовалась «башня со шпицом», «азиатская башня» или «башня в стиле азиатской архитектуры». Эти названия говорят об отношении элементов архитектуры башни к татарской архитектуре. Как известно, до строительства Губернаторского дворца в северной части кремля сохранялись остатки дворца казанских ханов [18, с. 157]. Возможно, архитектор, сооружавший башню Сююмбике, использовал в ее архитектуре элементы, заимствованные им в близлежащих остатках татарских построек. Есть также мнение, что архитектор ознакомился с сохранившимися булгарскими памятниками[17].

Другие влияния. В составе Казанского юрта находились или примыкали к нему территории соседствующих народов. Строительные традиции черемис, вотяков и др., возможно, были заимствованы булгаро-татарами. Часто на строительство посада привлекались черемисы, так как они были искусными мастерами по деревянному строительству, взамен они имели право укрываться в городе и вести оборону стен. Например, известно, что в 1530 году хан Сафа-Гирей доверил строительство посада именно черемисам, которые вместе с ногайцами и обороняли город [15]. Анализируя фортификацию Казани, очевидно, что в составе структуры крепости существовала специальная аварийная ремонтная бригада строителей, которая в экстренные сроки должна была ремонтировать образовавшиеся бреши и последствия пожаров во время осады. Об этом упоминает Сигизмунд Герберштейн, который говорит, что при осаде деревянной крепости Казани оборонявшиеся восстанавливали оборонительные сооружения на глазах у противника [6, с. 281]. Вполне возможно, что аварийными строителями и ремонтниками были именно черемисы, которые прекрасно владели строительством из дерева. Одновременно черемисы были прекрасными наездниками и воинами, которые известны своими смелыми вылазками на неприятеля [6, с. 282-283]. В русской литературе упоминается, что Свияжск был построен по новой быстровозводимой системе строительства из дерева под руководством дьяка Выродкова в течение 28 дней [14, с. 322]. Можно предположить и здесь участие черемисов и их мобильных систем, при помощи которых и был срублен Новгород Свияжский. Одна из интересных версий прозвучала от Н.Х. Халитова о том, что поскольку крепость Свияжск была построена при непосредственном руководстве Шах-Али для себя, то в ней могли прозвучать отголоски татарских традиций строительства деревянных крепостей, а значит, она может претендовать на статус татарской крепости. Это предположение нуждается в анализе Свияжской крепости и крепости Хан-Кермана.

Исходя из вышесказанного, можно сказать следующее. Казанская крепость, заложенная булгарами, а позднее усовершенствованная татарами, была реконструирована русскими с применением итальянских и русских приемов фортификации. При рассмотрении преемственности фортификационных традиций Казани мы можем говорить о булгарской градостроительной идее, татарских элементах обороны, русских нововведениях итальянской системы, а также, возможно, об участии финно-угорских народов.

---

[15] Надо заметить, что кирпич был традиционным строительным материалом в Золотой Орде (Улус Джучи) в составе которой была казанская крепость. Этот факт ставит под сомнение датировку по кирпичу русским периодом.

[16] См. подробно об архитектуре башни Сююмбике: Халит Нияз. Казанский кремль. Башня Сююмбике. – Казань, 2005.

[17] Эту версию высказал Н.Х. Халитов при консультации.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров С.С., Халиков А.Х., Юсупов Н.З. Память поколений. Научно-популярные очерки о памятниках истории и культуры Татарии. – Казань: Татарское кн. из-во, 1980. – 104 с.
2. Баталов А.Л. Судьбы ренессансной традиции в средневековой культуре. Итальянские формы в русской архитектуре XVI века // Искусство христианского мира: Сб. статей. Вып. 5. – М.: Из-во Православного Свято-Тихоновского Богословского иститута, 2001. – С.135-142.
3. Беляев Л.А. Малый городок как памятник архитектуры и градостроительного искусства Великого Болгара XIV века // Город Болгар: Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001. – С. 261-294.
4. Бондаренко И.А. О роли мастеров-иноземцев в традиционной культуре Руси. // Архитектурное наследство / Под ред. А.А. Воронова. Вып. 43. – М.: УРСС, 1999. – С. 37-41.
5. Воскобойников О. Гвельфы и гибеллины: тотальная война // Журнал «Вокруг Света», 2007, № 12 (2807). – С. 190-200.
6. Герберштейн Сигизмунд. Московия / Сигизмунд Герберштейн; пер. А.И. Малеина и А.В. Назаренко; коммент. З. Ножниковой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 703 с.
7. Губайдуллин А.М. Фортификационный словарь. 2-ое издание, дополненное и переработанное. – Казань: Институт истории АН РТ, 2006. – 144 с.
8. Егерев В.В. Стены Казанского кремля и работы по ремонту их. // Материалы по охране, ремонту и рестав-ии памятников ТССР. Вып. II. – Казань, 1928. – С. 62-77.
9. История Казани. Книга I. – Казань: Татарское кн. из-во, 1988. – 358 с.
10. Косточкин В.В. Русское оборонное зодчество конца XIII-начала XVI веков. – М.: Изд-во Академии наук, 1962. – 286 с.
11. Крепости и вооружение Восточной Европы. – М.: Бук Хаус, 2005. – 192 с.
12. Ласковский О. Материалы для истории инженерного искусства в России. Части I-IV. Опыт исследования инженерного дела в России до XVIII столетия О. Ласковского, Военного инженер-генерал-майора. – СПб.: Типография Императорской Академии Наук, 1858. – 315 с.
13. Русское градостроительное искусство: Градостроительство Московского государства XVI-XVII веков / НИИ теории архитектуры и градостроительства: Под общ. ред. Н.Ф. Гуляницкого. – М.: Стройиздат, 1994. – 317 с.
14. Саваренская Т.Ф. История градостроительного искусства. Рабовладельческий и феодальный периоды: Учебник для вузов. – М.: Архитектура-С, 2006. – 376 с.
15. Свечников С. Участие марийцев в битвах за Казань 1505-1552 гг. // Эхо веков, 2003, № 3/4.
16. Ситдиков А.Г. Казанский кремль: историко-археологическое исследование. – Казань, 2006. – 288 с.
17. Ситдиков А.Г. Топография средневековой Казани в свете археологических работ в исторической части города // Казань в средние века и раннее новое время. Материалы Всероссийской научной конференции / Отв. ред. Ф.Ш. Хузин, И.К. Загидуллин. – Казань, 2006. – 276 с.
18. Фукс Карл. Краткая история города Казани. Репринтное воспроизведение. – Казань, 1991.
19. Фукс Карл: Научно-библиографический сборник. – Казань: Жиен, 2005. – 480 с.
20. Халит Н.Х. Фортификационная система крепости // Казанский кремль. 1000-летию города Казани посвящается. Мультимедийное издание, 2004.
21. Халит Нияз. Казанский кремль – памятник татаро-русского средневековья // Средневековая Казань: возникновение и развитие. Материалы Международной научной конференции. Казань, 1-3 июня 1999 года / Редколлегия: Ф.Ш. Хузин и др. – Казань: Изд-во «Мастер-Лайн», 2000. – С. 173-174.
22. Хованская О.С. К истории города Казани // Журнал «Казань», 2001, № 1. – С. 95-102.
23. Хузин Ф.Ш. Средневековая Казань. – Казань: Татар. кн. из-во, 2004. – 76 с.
24. Шуази О. История архитектуры. – М.: Изд-во Московской академии архитектуры, 1937. – 694 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.03:726(47+57)
Нияз Халит – доктор архитектуры, профессор
E-mail: niaz_halit@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ТРАДИЦИЯ МНОГОБАШЕННОЙ МЕЧЕТИ В АРХИТЕКТУРЕ ПОВОЛЖЬЯ

АННОТАЦИЯ
Исследование посвящено одному из традиционных типов татарской мечети, прослеживающемуся в архитектуре Поволжья с XII века до настоящего времени.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многобашенная мечеть, татарская традиция.

Niyaz Halit – doctor of architecture, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

MULTY-TOWER MOSQES TRADITION IN TATAR ARCHITRCTURE OF VOLGA AREA

ABSTRACT
The study is focused on the traditional types of Tatar mosques прослеживающемся in Volga area architecture since 12-th century till our days.
KEYWORDS: multy-tower mosques, Tatar mosques, st. Basil's church.

В богатой и многообразной архитектуре татарской мечети, отсчитывающей уже тринадцатый век своей истории, особняком стоит уникальный тип аль-Кабир с несколькими минаретами, последним воплощением которого стала уже знаменитая теперь мечеть Кул-Шариф в Казани (рис. 1). Рождение ее архитектурного образа, свидетелем и непосредственным участником которого мне довелось быть, может служить весьма показательной моделью того, как вообще появляются такие уникальные сооружения в мировой архитектурной практике [1, с. 233-250]. Понятно, что архитектурная идея и ее материальное воплощение в виде столь дорогостоящего эксклюзивного проекта не может быть плодом только случайной прихоти заказчика или изощренной фантазии архитектора, а должно иметь серьезную причину для своего появления и аргументированное обоснование выбранных форм. Это суждение следует отнести не только к мечети Кул-Шариф, но и к другим уникальным мечетям предшествующих эпох.

Рис. 1. Мечеть Кул-Шариф в Казанском Кремле. Фото А. Халитова, 2006 г.

Многобашенная мечеть не редкость в мире Ислама и представлена разнообразной номенклатурой типов. В этом многообразии следует различать мечети с несколькими минаретами (рис. 2) и просто с многочисленными декоративными башенками, которые не имеют обрядового значения, а несут конструктивную или декоративную функцию (рис. 3, 4). Как известно, число минаретов любой мечети не может превышать число минаретов аль-Масджид аль-Харрам в Мекке (их у нее 7), а число прочих башен не ограничивается.

Многобашенные мечети Поволжья стоят особняком в ряду подобных сооружений других регионов и напоминают своей композицией архитектуру крепостных дворцовых и усадебных сооружений Переднего Востока. Судя по сохранившимся остаткам и сведениям, их необычная композиция не являлась чем-то случайным, а несет в себе определенную программу на всех уровнях (идеологическом, знаковом, традиционном, композиционном и т.д.), воспроизводя как вполне

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

конкретные прототипы прошлого, так и некую абстрактную идею не совсем понятного пока происхождения. Все здания этого типа обладают некоторым сходством в планировке и общей композиции (каменный отдельно стоящий объем с прямоугольным, почти квадратным планом, четырьмя массивными угловыми башнями, зальной планировкой).

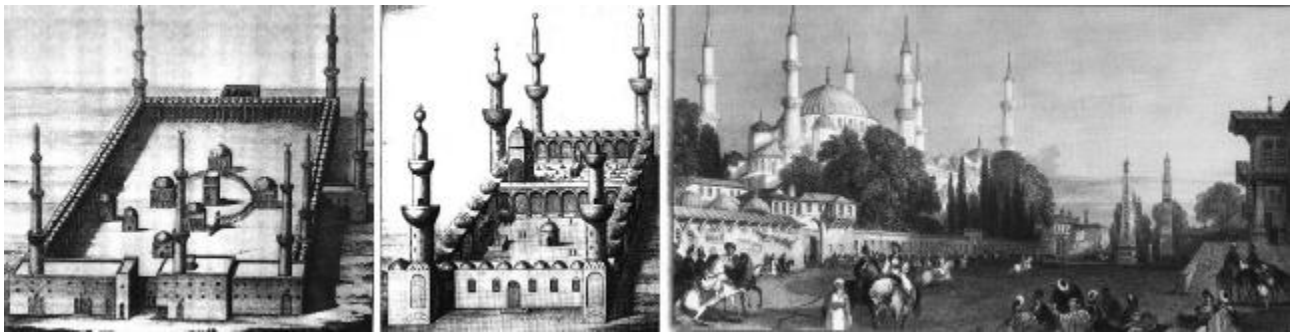


Рис. 2. Многоминаретные мечети: 1. Аль-Масджид аль-Харрам в Мекке (рисунок западноевропейского путешественника 18 в.); 2. Мечеть Пророка в Медине (рисунок западноевропейского путешественника 18 в.); 3. Султан Ахмет джами в Стамбуле (рисунок 19 в.)

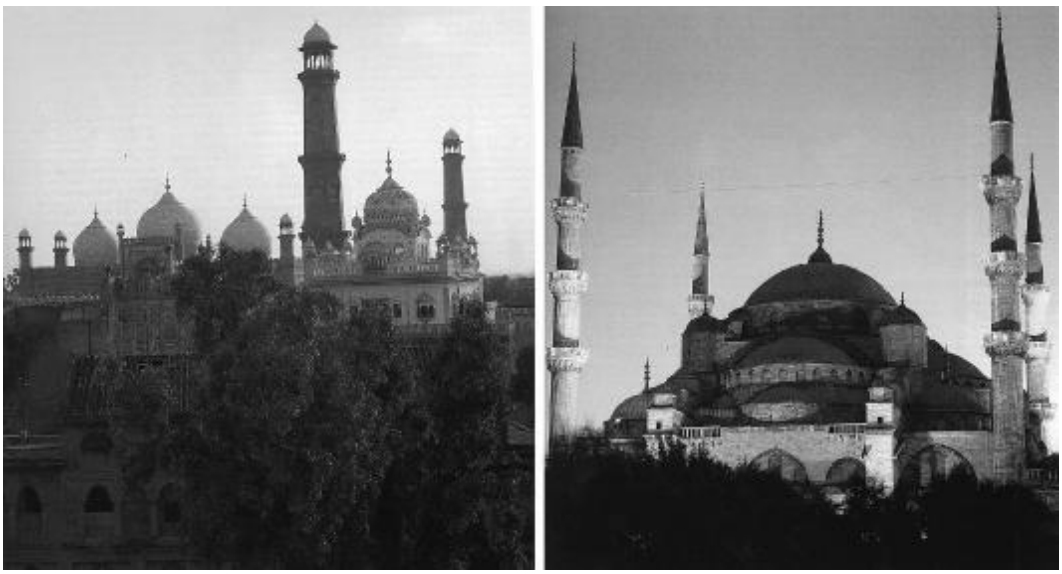


Рис. 3. Сочетания минаретов и башен: 1. Индия, г. Дели; 2. Селимие джами в Эдирне, Турция

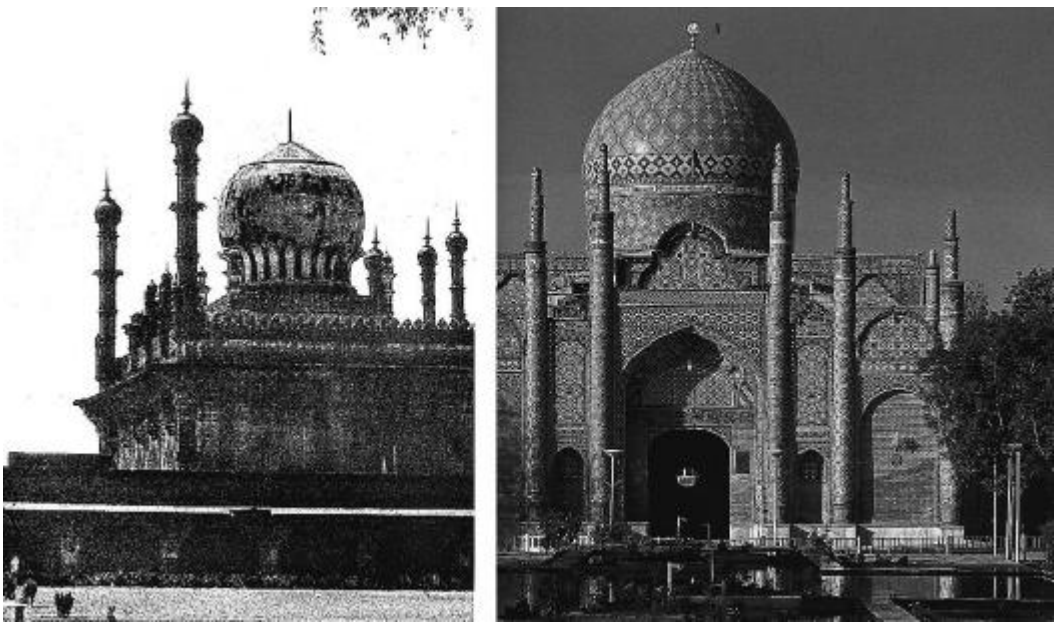


Рис. 4. Минаретоподобные башни в архитектуре мечетей: 1. Индия, г. Бишапур, мечеть Ибрагима, 14 в.; 2. Иран, Махан. Мавзолей Шах-Нематоллы Вали, 15 в.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

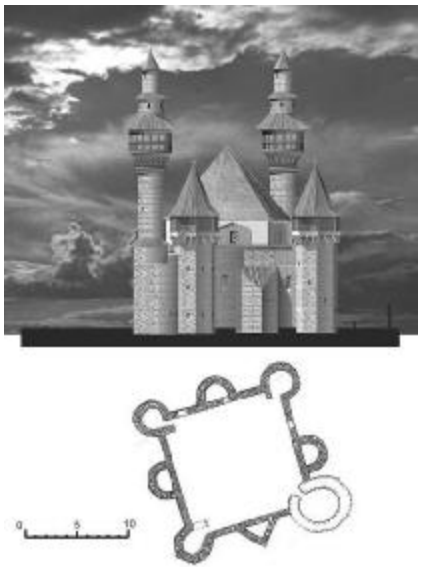


Рис. 5. Волжская Булгария аль-джами аль-Кабир, г. Алабуга, X-XII вв. Реконструкция Н. Халита

Рис. 6. Домонгольская мечеть на Чертовом Городище в Елабуге. Реконструкция Н. Халита

Первый достоверно зафиксированный памятник этого типа – домонгольская мечеть на Чертовом Городище в Елабуге (рис. 5, 6). Интригует ее загадочная, лишенная функциональной логики планировка с четырьмя угловыми башнями и четырьмя очень близко расположенными промежуточными полубашнями. Размеры, ориентация и выделенный объем михраба выдают в этом сооружении мечеть. Однако его необычная планировка, имитирующая крепостное сооружение, говорит о существовании более раннего и, вероятно, более масштабного прототипа, символически воспроизведенного на видном месте городской панорамы, а также о мемориальном характере этой мечети. X-XII вв., к которым относится это сооружение, – это период высокого развития исламского зодчества в регионах, непосредственно связанных политически и экономически с Волжской Булгарией. Формы и пропорции знаковых культовых комплексов того времени (мечети Калян, Магоки-Аттори и мавзолей Исмаила Самани в Бухаре) построены на методах математической гармонизации форм и в совершенной строительной технике, что является широко известным фактом. Булгария также была одним из продвинутых культурных регионов исламского мира и, безусловно, широко использовала мировой опыт строительства культовых сооружений. Вероятный внешний вид этой мечети, судя по сохранившимся остаткам, мог иметь достаточно стандартный характер для тюркского региона: кубический объем, увенчанный куполом или пирамидальным шатром на уплощенном восьмигранном ярусе. Любопытным конструктивным решением здесь могло быть использование примыкающих полубашен как средства для погашения распора купола при относительно небольшой толщине стены. Впрочем, вероятен и вариант деревянного купольного перекрытия по типу ранних арабских (Куббат ас-Сахра в Иерусалиме). Видимо, это сооружение имело для жителей этого булгарского города какое-то особое значение, поскольку в его археологических остатках читаются следы реконструкции еще во времена средневековья. Похоже на то, что после полного его разрушения одна из угловых башен была символически восстановлена в более массивных формах в виде отдельно стоящей башни (минарета) и сохранилась фрагментарно до наших дней.

Исходя из прослеживающейся закономерности, о которой будет сказано ниже, можно предположить существование подобного же по композиции сооружения и в архитектуре домонгольского Биляра. С.С. Айдаров видит угловые башни в археологических остатках деревянной домонгольской аль-Кабир первого периода ее существования [2, рис. 117 а].

Почти буквально воспроизводит в XIV веке елабужский прототип аль-Кабир города Булгар, повторяя его как в композиционном, так и в градостроительном отношениях (рис. 7). Главная мечеть этого богатого города, стоявшая на высоком берегу реки еще с домонгольских времен, в XIV веке была реконструирована, обретя новый интерьер и массивные угловые башни. Эти многогранные башни в виде усеченных пирамид были забутованы изнутри до самого верха и не имели ни оборонного, ни конструктивного значения. Возведение столь дорогостоящих элементов на уже существовавшей мечети без видимой необходимости носило явно символический характер и не может

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

быть объяснено косметическими нуждами или переменой стиля, поскольку они не имели прямых аналогий в господствовавшем тогда направлении сельджукизма. Их появление можно предположительно привязать к факту вероятного разрушения мечети в Елабуге или в Биляре (или и той и другой вместе), как какой-то пока не расшифрованный знак преемственности, когда характерный образ мемориальной мечети прошлого был воссоздан на центральной площади нового столичного города.

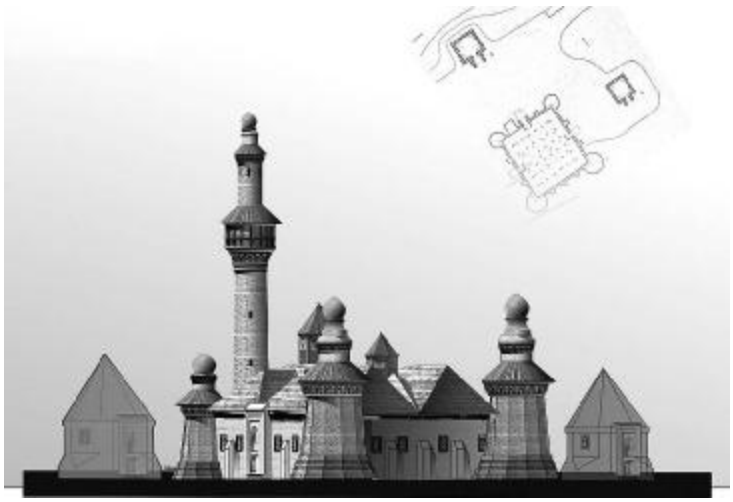


Рис. 7. Золотая Орда аль-джами аль-Кабир г. Булгар, XIV в. Реконструкция Н. Халита

Рис. 8. Храм-памятник в честь завоевания Казани – собор Василия Блаженного на Красной площади в Москве (1558-62 гг.):
а) Композиционная аналогия: Мечеть в Куала-Лумпур, Малайзия;
б) Возможный прототип: многобашенная мечеть в Казани, композиционная идея.
Реконструкция Н. Халита

Привлекает внимание сообщение Ш. Марджани о мечети с восемью башнями в Казанской крепости. Преподнесенное им в виде пересказа народной легенды, оно находит подтверждение в формах храма-памятника в честь завоевания Казани – соборе Василия Блаженного, возведенного на Красной площади в Москве в 1558-62 гг. [3]. И вновь мы видим массивные многогранные башни-столпы, окружающие основной объем и формирующие запоминающийся мемориальный образ, в данном случае символизирующий побежденную Казань (рис. 8). В свете выдвигаемой гипотезы легко предположить, что главной идеей храма Василия Блаженного было воспроизведение этого же традиционного священного столичного мемориала казанских булгаро-татар в образе памятника в честь уничтожения татарской государственности, – так же, как и присвоение титула Царь Болгарский великим князем Московским с экспроприацией символа государственной власти – Ханской короны (Казанской Шапки). Отголоски легенды о казанской многобашенной мечети можно видеть в формах трапезной Благовещенского собора (по одной из версий построенного на месте мечети) и декоративных деталях Губернаторского дворца в Казанском Кремле (арх. Ф.И. Петонди, 1846 г.) (рис. 10).

В Новое время, когда строительство монументальных мечетей уже не велось и их традиция была утрачена, можно неоднократно наблюдать разнообразные версии многобашенной композиции в трактовке архитектурных элементов татарских мечетей России. Наиболее ярким примером воспроизведения прототипа в формах сельского народного зодчества можно считать мечеть в с. Субаш Ата Казанской губернии, запечатленную на старинном татарском шамаиле [см. реконструкцию Ф. Валеева – 4, рис. 53] (рис. 9). Уже сам факт ее воспроизведения на шамаиле говорит о ее особом значении, поскольку на них попадали в основном мечети, носившие особый статус (виды Мекки, Медины, Каира, Стамбула, Болгара). В это число попала и мечеть в, казалось бы, незаметной татарской деревне. Вполне вероятно, что именно знаковый характер ее образа и послужил тому причиной. В других случаях (Барудия в Казани, № 1 в Перми, мечеть в Санкт-Петербурге и др.) (рис. 11, 12) многобашенность лишь обозначалась как, скажем, часть композиции минарета. Надо полагать, с исчезновением многобашенной мечети как монументальной архитектурной традиции ее образ сохранился в народной памяти, проявляясь в желании символического его воспроизведения как элемента национальной архитектурной традиции во вновь строящихся мечетях.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 9. Реконструкция Ф.Х. Валеевым казанской главной мечети по рисунку на шамаиле 19 в.

Рис. 10. Многобашенная мечеть, архитектурная деталь на фасаде Губернаторского дворца и угловые башенки трапезной Благовещенского собора в Казанском Кремле (арх. Ф.И. Петонди, 1840-е гг.). Фото Н. Халита

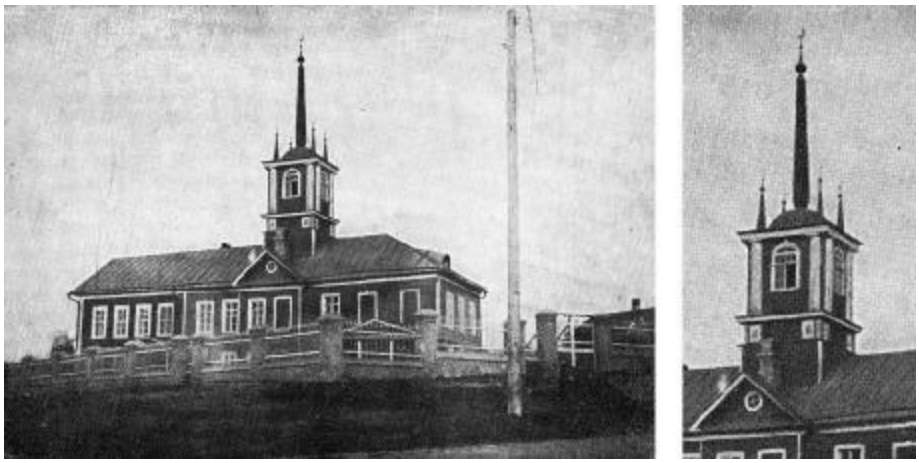


Рис. 11. Отображение образа многобашенной мечети в архитектуре мечети Барудия в Казани (1805 г.). Фото начала 20 в.

Рис. 12. Отображение образа многобашенной мечети в архитектуре мечети № 1 в Перми. Фото начала 20 в.

Рис. 13. Отображение образа многобашенной мечети в архитектуре мечети Рамазан в Казани (арх. С.С. Айдаров). Фото Н. Халита, 1998 г.

Советское время сохранило образ многобашенной мечети как символа могучего булгарского государства предков казанских татар в образе его главного столичного сооружения, тщательно изученного археологами и многократно воспроизведенного в художественном, литературном и поэтическом творчестве, декоративно-прикладном и монументально-декоративном искусстве татар. В конце 1980-х гг. этот образ лег в основу эмблемы Духовного Управления Мусульман европейской части СССР и Сибири.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

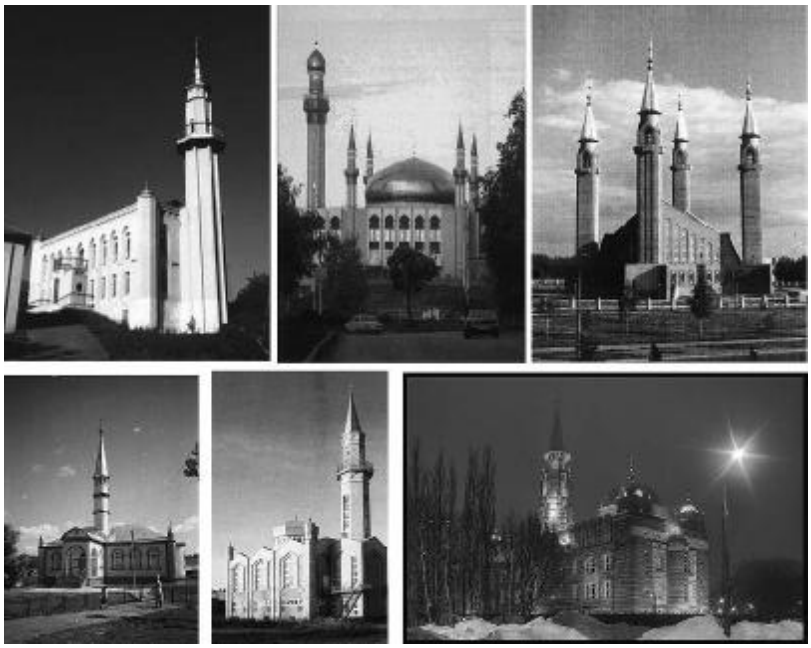


Рис. 14. Отображение образа многобашенной мечети в современной архитектуре.
1. Мечеть в г. Бугульме РТ, арх. Р.А. Мухаметшина, Н.Я. Гисматулин, 1990-е гг.
2. Мечеть Галеева в г. Альметьевске РТ, арх. А.М. Закиров, Ф.М. Мавлютов, 1990-1999 гг.
3. Соборная мечеть в г. Нижнекамске РТ, арх. Ф.И. Макуев, Ф.Г. Ханов, 1989-96 гг.
4. Мечеть в дер. Шишинер Балтасинского р-на РТ. Фото Н. Халита, 1987 г.
5. Мечеть в г. Менделеевске РТ, арх. Ф.Х. Закиров, 1995 г.
6. Мечеть в г. Самаре

В конце XX – начале XXI вв. можно наблюдать стихийное стремление к воссозданию образа булгарской Кабир во вновь строящихся татарских мечетях как на селе, так и в российских городах. Прямоугольные в плане здания мечетей символически снабжаются декоративными минаретоподобными башенками, явно навевающими воспоминания о разрушенной мечети в Булгарах (рис. 13, 14).

Наиболее значительным произведением архитектуры, программно воплотившим в себе названную традицию, стала мечеть Кул-Шариф в Казанском Кремле. Она возникла как результат осмысленного желания символически воспроизвести древнюю традицию многобашенной мечети в архитектуре Поволжья, прослеживающуюся на примере многих памятников в течение, как минимум, тысячи лет.

Обобщая изложенное, в многобашенной мечети названного типа можно увидеть некий символ поволжского ислама, непременный атрибут булгарского, а затем и казанско-татарского столичного города, преемственно возникающий по мере разрушения прежней Кабир и переноса столицы. Его первоначальный прототип пока не найден. Можно предположить, что корни такой композиции лежат либо в одной из первых мечетей Волжской Булгарии, выстроенных по среднеазиатскому или арабскому образцам, либо некоем сооружении священного статуса, связанном с именем мусульманского святого или героических событий прошлого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халит Н. Полемика вокруг реконструкции мечети Кул-Шарифа в Казанском Кремле: политические аспекты защиты татарского архитектурного наследия / Ислам в татарском мире: история и современность (Материалы международного симпозиума. Казань, 29 апреля – 1 мая 1996 года). – Казань: Институт Истории АНТ, Французский институт исследований в Центральной Азии, Центр гуманитарных исследований // “Панорама-Форум”, 1997, № 12. Специальный выпуск. – С. 233-250.
2. Первоначальный вид деревянной мечети на Билярском городище по реконструкции С.С. Айдарова и Ф.М. Забировой // В кн.: Хузин Ф.Ш. Булгарский город в X-начале XIII вв. – Казань, 2000.
3. Халит Н. Мечеть Кул-Шариф в Казанской крепости. Гипотезы. Факты. Размышления. – Казань: Иман, 1996.
4. Валеев Ф.Х., Валеева-Сулейманова Г.Ф. Древнее искусство Татарии. – Казань: Татарское книжное издательство, 1987.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.021
А.О. Акатьева – аспирант, старший преподаватель
E-mail: akatyeva@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРОЕКТНОЙ ПРАКТИКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В РАМКАХ КУРСА «АРХИТЕКТУРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ»

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрен процесс развития курса «Архитектурная презентация» и интегрирование в него опыта профессиональной проектной практики. В статье также отражен процесс практического внедрения междисциплинарного подхода к архитектурной презентации, интерактивного подхода к работе со студентами и интенсивного обучения инновационным компьютерным технологиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: курс «Архитектурная презентация», архитектурное образование, интегративный подход, междисциплинарный подход, интерактивный подход, компьютерные технологии, презентация курсового проекта.

A.O. Akatyeva – post-graduate student, senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering

INTEGRATION OF DESIGN PRACTICE IN EDUCATIONAL PROCESS IN THE ARCHITECTURAL PRESENTATION COURSE

ABSTRACT

The article describes the Architectural presentation course's development and integration of professional design practice's experience in it. The article also reflects the process of practical implementation of an interdisciplinary approach to Architectural presentation, interactive approach to work with students and intensive training of innovative computer technology.

KEYWORDS: Architectural Presentation course, architectural education, integrative approach, interdisciplinary approach, interactive approach, computer technology, student presentation, teaching.

Умение всесторонне и позитивно представлять свою работу является важным аспектом современной архитектурной деятельности. В процессе проектной практики архитектор сталкивается с профессиональными ситуациями, когда необходимо презентовать себя и свои работы с целью получения заказа, разработки и продвижения проекта, а также участия в публичных событиях (общественных слушаниях, градостроительных советах, выставках, конкурсах, проектных семинарах и «перфомансах»).

Развитие презентационных навыков архитектора происходит на протяжении всего творческого и профессионального пути специалиста, однако многие базовые знания и навыки закладываются еще на стадии профессионального обучения в вузе. Архитектурные фирмы, работающие в условиях высокой внутриотраслевой конкуренции, уделяют значительное внимание презентации своей деятельности и заинтересованы в молодых специалистах, способных квалифицированно представлять работу. В связи с этим возникает необходимость комплексного рассмотрения вопросов развития навыков презентации в архитектурной школе.

В рамках современных дискуссий о стратегиях развития архитектурного образования очень остро стоит вопрос об увеличивающейся дистанции между процессом обучения студентов архитектурной специальности и последующей практикой. Отечественный исследователь профессор Метленков Н.Ф. говорит о том, что архитектурное образование, отделившееся от процесса производства (как это было в средневековых артелях), в целом развивает у студентов определенные навыки проектирования, но не дает комплексного представления о процессе проектирования в том виде, как оно реализуется в современной практике [1]. Та же мысль нашла свое отражение в книге

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«The Learning Organization and the Evolution of Practice Academy Concepts» исследователя архитектурного образования и практики Марвина Малеха, который поднимает вопросы интегрирования образовательного процесса в проектный, и наоборот [2]. Вопросы, связанные с интеграционными процессами в архитектурном образовании, не могут быть рассмотрены в отрыве от того факта, что современная архитектурная деятельность реализуется в рамках бизнеса, а одной из ключевых позиций успешной его реализации является презентация и активная пропаганда своей деятельности на рынке. Архитекторам в целом не свойственно обращаться к услугам специалистов в области рекламы и PR, поэтому, когда мы говорим о «квалифицированном специалисте», нужно вкладывать в этот образ и умение успешно себя позиционировать как такового.

До недавнего времени в программе профессиональной подготовки архитекторов отсутствовал курс, специально ориентированный на изучение вопросов архитектурной презентации. Традиционно студенты учились презентации своих работ на примерах мастеров в рамках курсов истории архитектуры, дизайна и изобразительных искусств. Также они изучали методы графической подачи (в рамках курсов по рисунку, колористике и объемному моделированию) и приобретали основные практические навыки презентации в рамках разработки курсовых и дипломных проектов [3]. Однако ни один из перечисленных курсов не давал студентам-архитекторам комплексного и системного знания о презентации в архитектурной деятельности.

Курс «Архитектурная презентация»

Чтобы помочь студентам-архитекторам в развитии презентационных навыков, на кафедре архитектурного проектирования Казанского государственного архитектурно-строительного университета с 2006 года внедряется специальный курс, посвященный архитектурной презентации. Данный курс реализуется в рамках специализации по кафедре под названием «Новейшие компьютерные технологии в архитектурном проектировании». Программа рассчитана на два семестра: осенний семестр 5 года обучения и весенний семестр 6 года.

Основной **целью** курса является всестороннее знакомство с явлением архитектурной презентации и развитие у студентов навыков устного, письменного и графического представления. Особое внимание уделено процессу изучения инновационных компьютерных технологий в области архитектурной визуализации и презентации ввиду их востребованности на архитектурном рынке [4].

Работа со студентами проходит в форме семинарских занятий, которые состоят из трех частей: обсуждение домашнего задания, обзор новой темы, выполнение практического упражнения в ручной графике (15-35 мин.). В процессе работы студенты знакомятся с такими темами, как «резюме и портфолио архитектора», «выставочная экспозиция проекта», «компьютерная презентация в формате слайд-шоу, ролика и интерактивной презентации». По каждой теме студенты выполняют краткосрочные практические задания и (или) обзор мирового опыта. В завершение семестра студенты представляют компьютерную презентацию текущего проекта (в формате Power Point или видеоролика длительностью 2-3 мин.) с устным докладом. Тема создания компьютерной презентации рассмотрена в курсе наиболее подробно, и работа над ней реализуется в несколько стадий: написание сценария и раскадровки, дизайн слайда, подготовка содержательной части, настройка видео- и аудио-эффектов, «сведение» и запись финальной презентации.

Специфика курса

Изучение презентации затрагивает широкий спектр смежных дисциплин: графический дизайн, компьютерные технологии, маркетинг, реклама, связи с общественностью, теория и практика коммуникаций. Развитие этих областей приводит к постоянной эволюции и модернизации понимания роли, задач и способов презентации в архитектурной деятельности. В связи с этим происходит постоянное обновление и коррекция курса. В концептуальную основу преподавания архитектурной презентации заложен принцип «адаптации», который подразумевает его открытость к развитию современных технологий и научно-практических знаний.

При работе над курсом параллельно развиваются его теоретические и практические аспекты. Теоретический базис курса разрабатывается автором под руководством заведующего кафедрой архитектурного проектирования Новикова Н.М. в рамках диссертационного исследования по теме «Архитектурная презентация как средство коммуникации». Практические наработки формируются в процессе работы со студентами КазГАСУ и профессиональной практики. Существенным стимулирующим фактором развития и совершенствования курса является сотрудничество с Научно-производственной лабораторией ГУП «Татинвестгражданпроект» под руководством архитектора

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Евсеева Е.С. Данное подразделение, созданное на базе ГУП «Татинвестгражданпроект» в рамках договора о творческом сотрудничестве с КазГАСУ, специализируется на разработке архитектурных презентаций и архитектурно-планировочных концепций, а также подготовке архитектурных кадров [5]. Опыт Научно-производственной лаборатории, наработанный в процессе подготовки профессиональных презентаций и изучения данной области, адаптируется для студентов в виде разрабатываемых учебно-методических пособий, семинаров и мастер-классов (рис. 1).

Рис. 1. Мастер-класс сотрудника Научно-производственной лаборатории ГУП «Татинвестгражданпроект» Гиниятова И. по подготовке компьютерной презентации

Предпосылки коррекции курса

В процессе трехлетней работы автора над курсом в КазГАСУ, научно-практической деятельности в области архитектурной презентации в ГУП «Татинвестгражданпроект» и стажировки в США (2008-2009 гг.) были сделаны определенные выводы и выявлены некоторые предпосылки для коррекции курса «Архитектурной презентации».

Из работы со студентами в КазГАСУ:

- в процессе обсуждения тем курса выявлено, что студенты достаточно осведомлены в общих вопросах и объем времени по некоторым темам может быть сокращен;

- в процессе разработки компьютерной презентации выявлено, что знаний программных продуктов в области визуализации и презентации недостаточно для подготовки законченных презентаций высокого уровня;

- в процессе разработки компьютерной презентации выявлено, что сроки разработки архитектурной презентации опережали сроки проектирования презентуемого объекта.

Из работы Научно-производственной лаборатории ГУП «Татинвестгражданпроект»:

- в процессе работы над компьютерными презентациями и посещения мастер-классов «Icube» (Москва) и «Rangemotions» (Москва) выработалась цельная модель работы над подготовкой презентации в условиях параллельной разработки архитектурно-планировочной концепции;

- с развитием технических ресурсов произошли определенные изменения стратегии работы с программными пакетами в области архитектурной визуализации и видеомонтажа.

Из международного опыта обучения за рубежом по гранту Правительства Республики Татарстан:

- в процессе изучения подхода к архитектурной презентации удалось познакомиться с общим опытом работы со студентами в архитектурной школе США;

- проведено персональное интервьюирование директоров американских архитектурных фирм об архитектурных презентациях в их практике. Это дало возможность сбора и анализа «частных случаев» архитектурных презентаций;

- проведено изучение англоязычных источников по презентации и другим смежным областям знаний, а также анализ сайтов архитектурных фирм, что дало возможность углубления теоретической базы курса.

Стратегия коррекции курса

Основной **целью** коррекции курса является оптимизация работы со студентами на основе современных теоретических и практических наработок в области архитектурной презентации и методики преподавания для студентов старших курсов [3].

Среди основных **задач** по коррекции курса были обозначены:

1) оптимизация внутреннего баланса тем курса;
2) интеграция разработки архитектурного проекта и его презентации;
3) дополнительное обучение техническим навыкам при создании компьютерной презентации;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4) привлечение практикующих архитекторов – сотрудников Научно-производственной лаборатории ГУП «Татинвестгражданпроект» к работе со студентами;

5) мотивация активной групповой и индивидуальной работы студентов;

6) внедрение общих понятий архитектурной презентации и изучение частных случаев.

Примененный комплексный **метод** оптимизации структуры курса и методики работы со студентами включил в себя следующие базовые компоненты: интеграционный подход к архитектурному образованию, междисциплинарный подход к явлению архитектурной презентации, интерактивный подход к работе со студентами и внедрение современных компьютерных технологий в учебный процесс.

Использование интеграционного подхода определяется общим стремлением интегрирования научных, образовательных и производственных процессов. На примере курса архитектурной презентации данный подход выражается в том, что при изучении того или иного вопроса от студента ожидается умение научно определить понятие, практически его применить в своей учебной работе и последующей профессиональной практике.

Междисциплинарный подход к презентации обусловлен тем, что презентация относится к различным областям гуманитарных знаний. В рамках курса междисциплинарный подход выражается в анализе областей знаний, которые затрагивают явление презентации, и изучении специфики именно архитектурной деятельности. Автор обозначает основные направления (бизнес организацию, маркетинг и PR, психологию, ораторское искусство, графический дизайн и медиа-технологии) и дает обзор данных областей, адаптированный для студентов-архитекторов.

Принцип интерактивности проявляется в том, что студенты проявляют значительную самостоятельность в организации собственной групповой и индивидуальной деятельности и процесс обучения происходит в форме «сотрудничества» [6]. В работе по курсу сделан акцент на интеракции «студент-студент» (рис. 2). Роль преподавателя ориентирована на координацию групповой и индивидуальной работы. Важную мотивационную роль играет процесс публичной презентации и коллективного обсуждения проектов самими студентами и приглашенными специалистами. Приглашение специалистов Научно-производственной лаборатории ГУП «Тативестгражданпроект» для обсуждения технологии и техники подготовки презентации является средством реализации интенсивного обучения современным компьютерным программам при решении практических задач.

Рис. 2. Групповая работа студентов в рамках занятия по архитектурной презентации (гр. 01-501)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица

СОВМЕЩЕННАЯ ПРОГРАММА КУРСОВ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРНОЙ ПРЕЗЕНТАЦИИ (НКТ в АП)

№ АП	АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	самостоятельная работа	№ НКТ	АРХИТЕКТУРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ	самостоятельная работа
1	Выдача задания на проектирование	выезд на место	1	виды презентации/конкурсы, выставки и гранты	обзор
2	Клаузура концепция (3 варианта)	подготовка доклада			
3	Обсуждение клаузур, состава аналит. части	концепция+анализ	2	резюме, портфолио	резюме, портфолио
4	Разработка концепции/разработка анализа	концепция+анализ			
5	Разработка концепции/разработка анализа	подготовка к клаузуре	3	планшетная экспозиция, макет и брошюра	распланшетовка
6	Клаузура распланшетовка	подготовка доклада			
7	Презентация и обсуждение клаузур	концепция+анализ	4	компьютерная презентация. сценарий	сценарий
8	Разработка концепции/разработка анализа	концепция+анализ			
9	8 МАРТА	подготовка презентации	5	компьютерная презентация. раскадровка	раскадровка
10	Презентация аналитической части проекта	концепция+анализ			
11	Разработка концепции/разработка анализа	подготовка к клаузуре	6	компьютерная презентация. аниматик/дизайн	аниматик, дизайн
12	Клаузура эскиз проекта (3 варианта)	подготовка доклада			
13	Презентация и обсуждение клаузур (выбор вар.)	концепция+анализ	7	презентация аниматика с докладом	аниматик, доклад
14	Разработка концепции/разработка анализа	концепция+анализ			
15	**СПЛОШНЯК № 1.**	**подготовка**	**8**		**подготовка**
16	**2 планшета, ПЗ, графореферат**	**презентац. материалов**		**диск с аниматиком**	**презентац. материалов**
17	Презентация и обсуждение сплошняка	подготовка доклада	9	презентация в сети	обзор
18	Разработка проекта	разработка проекта			
19	Проектный семинар Архи-вижн	разработка проекта	10	презентация. контент	подготовка материалов
20	Разработка проекта	разработка проекта			
21	Разработка проекта	разработка проекта	11	презентация. контент	подготовка материалов
22	Разработка проекта	подготовка к клаузуре			
23	Клаузура сборочная	подготовка доклада	12	предфинальная презентация	сшивка материалов
24	Презентация и обсуждение клаузур	разработка проекта			
25	Разработка проекта	разработка проекта	13	устный доклад, собеседование и интервью	доклад
26	Разработка проекта	разработка проекта			
27	**СПЛОШНЯК №2**	**подготовка**	**14**		**подготовка**
28	**1-2 планшета, ПЗ+брошюра, графореферат**	**презентац. материалов**		**диск с презентацией, устный доклад**	**презентац. материалов**
29	оценка за курс			оценка за курс	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Другим нововведением является внедрение широко используемой в передовых западных образовательных системах программы «он-лайн» класса (arch-studio-akatyeva.wikispaces.com). Под руководством преподавателя студенты создали и постоянно обновляют интернет-страничку группы, размещая свои клаузуры и участвуя в их обсуждении. Мини-сайт находится в открытом доступе, так что все желающие могут оставить свои комментарии по работам и проследить динамику развития проектов. Активное участие в обсуждении студенческих достижений принимают и сотрудники Научно-производственной лаборатории ГУП «Татинвестгражданпроект».

Согласно описанным выше принципам и задачам коррекции курса в конце 2009 г. была отредактирована **рабочая программа** на первый из двух семестров курса (таблица).

В программе произошли следующие изменения:

- программа курса была увязана с графиком разработки курсового проекта (в экспериментальной подгруппе);
- темы объединились в логические блоки: «представление архитектора», «представление проекта» и «компьютерная презентация проекта»;
- уменьшилось количество часов по темам «портфолио», «выставочная двухмерная композиция» и увеличилось количество часов по теме «компьютерная презентация проекта»;
- добавились темы «представление на конкурс, грант и выставку», «макет», «брошюра», «устный доклад, собеседование и интервью», «презентация в сети».

В настоящее время начата стадия эксперимента, и по ее результатам будет откорректирована программа всего курса и доработана вторая половина курса.

Заключение

Несмотря на незавершенность эксперимента, уже можно говорить, что нововведения были восприняты студентами позитивно. Активное участие большинства студентов в занятиях дает возможность судить о реализации концепции интерактивного обучения. Кроме того, значительный интерес у студентов вызвали мастер-классы с участием приглашенных специалистов, на которых студенты смогли не только научиться, но и продемонстрировать собственные творческие наработки по отдельным аспектам подготовки архитектурных презентаций. Более детальные результаты эксперимента будут проанализированы по окончании семестра и положены в структуру разрабатываемого методического пособия по курсу.

В целом, следует отметить, что внедрение курса архитектурной презентации позитивно сказывается на результатах и самого архитектурного проектирования студентов, а также частично выполняет роль адаптера к последующей проектной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метленков Н.Ф. Моделирование учебного архитектурного процесса // Архитектура и строительство России, 2009, № 6. – С. 4-8.
2. Malecha M. The Learning Organization and the Evolution of Practice Academy Concepts. – USA: NC State University College of Design, 2005.
3. Бархин Б.Г. Методика архитектурного проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 230 с.
4. Новиков Н.М., Валеев Э.Г. Визуализация архитектурных и градостроительных решений как средство диалога архитектора с заказчиками и общественностью // Известия КГАСУ, 2005, № 1(3). – С. 12-13.
5. Евсеев Е.С. Положение о Научно-производственной лаборатории. – Казань: ГУП «Татинвестгражданпроект», 2007.
6. Джонсон Д., Джонсон Р., Джонсон-Холубек Э. Методы обучения. Обучение в сотрудничестве. – СПб.: Изд-во Экономическая школа, 2001.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК:72:159.9
Е.А. Афанасьева – кандидат психологических наук, доцент
E-mail: elenaalex2011@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВЫБОР ПРОФЕССИИ АРХИТЕКТОРА – ПРИЧИНЫ И ЦЕЛИ

АННОТАЦИЯ
В статье рассмотрена мотивация выбора профессии «архитектор» в качестве первого этапа формирования профессиональной мотивации. Предложена анкета, позволяющая оценить степень влияния различных причин на выбор данной профессии; выявить представления студентов о необходимых условиях для ее освоения; выявить цели выбора профессии архитектора. Изложены результаты исследования и возможности их применения в процессе профессиональной подготовки архитектора.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: профессия архитектора, профессиональная подготовка, формирование профессиональной мотивации, причины и цели выбора профессии архитектора.

E.A. Afanasyeva – candidate of the psychological sciences, assistant professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

OPTION OF ARCHITECT PROFESSION – REASONS AND INTENTIONS

ABSTRACT
In the article option of profession “architect” is analysed as a first stage of professional motivation development. The author presents questionnaire to research influence of different reasons in option of architect profession. The questionnaire also helps to expose student’s meanings about necessary conditions for professional development; to expose intentions in option of architect profession. The paper presents results of research and describes the possibilities of their practical use in architectural education.
KEYWORDS: profession “architect”, education, development of professional motivation, reasons and intentions in option of architect profession.

Профессия архитектора и подготовка к ней нередко становятся объектами как научного (исторического и теоретического) исследования, так и объектами рефлексии самих профессионалов. В общественном мнении за профессией архитектора закрепился статус особенной, уникальной, специфичной профессии. И это мнение основано на реальных, объективных характеристиках данной профессии, требующей комплекса различных и в чем-то даже противоположных (технических и художественных) способностей, знаний и умений. Кроме того, профессия архитектора предъявляет большие требования к человеку. Для достижения профессионального успеха необходимы такие способности, как общая интеллектуальная одаренность, чувство гармонии, креативность и такие личностные качества, как настойчивость, целеустремленность, стремление к постоянному совершенствованию и развитию, большое трудолюбие, коммуникативные качества.

Общеизвестно, что подготовка к столь универсальной профессии требует больших затрат времени и сил, преодоления разнообразных кризисов развития. Тем не менее, профессия архитектора остается весьма привлекательной для большого числа абитуриентов. Конечно, представления абитуриентов о будущей профессиональной деятельности не вполне совпадают с реальностью. Они базируются на имеющемся ко времени выбора профессии опыте – это обучение в детских художественных и архитектурных школах, наличие и влияние родственников-архитекторов, осознание своих способностей, интереса к искусству и архитектуре, желания заниматься творческой деятельностью. Под влиянием этих факторов формируется мотив выбора профессии, осуществляется целеполагание, формируется готовность действовать и прилагать усилия для достижения выбранной цели.

В теоретических исследованиях профессиональной деятельности архитектора мотивация обычно рассматривается как регулятор профессиональной деятельности в ее зрелых формах, как движущая сила профессионального развития [1, 8]. Изучается чаще состав мотивационных факторов,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

чем механизм их формирования и преобразования. Однако практики архитектуры, обобщая свой профессиональный опыт, подчеркивают значение происхождения и развития своего интереса к архитектуре, аспекты выбора профессии, роль мотивационных воздействий со стороны наставников в собственном профессиональном развитии [4, 5, 6].

Мотив выбора профессии является первым звеном в формировании целостной профессиональной мотивации, которая становится движущей силой профессиональной подготовки, а затем и профессиональной деятельности. Помимо выполнения всех текущих действий, мотивация обеспечивает акты выбора на разных этапах профессиональной жизни: выбор профессии и специальности, выбор специализации, выбор места работы, выбор пути профессионального развития [2, 3]. Таким образом, профессиональная мотивация – это многоактовый процесс, который продолжается на протяжении всей профессиональной жизни человека. Этот процесс направляется как внутренними механизмами личностного и профессионального развития, так и воздействием внешних факторов. К внешним факторам на уровне профессиональной подготовки можно отнести, например, мотивационное воздействие преподавателей, оценивание ими достижений и потенциала студента, обстановку и отношения в группе.

На первой стадии освоения профессии особенно важно развитие мотивов профессиональной подготовки, ориентация на предстоящую практическую деятельность [2]. Первая стадия освоения профессии архитектора связана с формированием основ профессиональной деятельности – архитектурного проектирования. Важным для формирования профессиональной мотивации является «принятие» человеком профессии и нахождение личностного смысла данной деятельности [7]. Можно особо выделить мотив стремления к профессиональному развитию, который в дальнейшем становится критерием профессионализма. Пример негативного мотивационного развития на этой стадии – развитие внепрофессиональных мотивов в ущерб профессиональных. Важна и своевременная коррекция выбора профессии, специальности, факультета.

Предпосылки формирования целостной профессиональной мотивации можно обнаружить уже на этапе выбора профессии. Поэтому изучение мотивов выбора профессии, помимо чисто научного интереса, имеет большое прикладное значение. Зная особенности мотивации выбора профессии студентом, преподаватель получает возможность целенаправленного влияния на формирование профессиональной мотивации, а значит, и на повышение качества профессиональной подготовки в целом. Следует подчеркнуть, что центральным явлением в любом развитии является преобразование мотивационной сферы личности [2, 9].

На первой стадии профессионализации студент-архитектор сталкивается с новыми для себя ситуациями. С одной стороны, это ситуации внешние: необходимость решать частные архитектурные задачи (композиционные, колористические, функциональные), генерировать идеи, разрабатывать учебные проекты под руководством преподавателей. С другой стороны, это ситуации внутренние, связанные с самоуправлением в новой – студенческой – учебной деятельности [9]. Известно, что ядром учебной деятельности студентов является их учебное самосознание – осознание мотивов, целей, приемов учения. Это позволяет осознать самого себя как субъекта учебной деятельности, что дает возможность сознательно организовывать, направлять и контролировать учебную деятельность – профессиональную подготовку себя как архитектора. По этой причине осознание мотивов и целей профессионального выбора оказывается чрезвычайно полезным не только для преподавателей, но и для самих студентов и может стать основой формирования профессионального самосознания будущего архитектора.

Таким образом, в исследовании была поставлена цель изучения стартового этапа формирования учебной и профессиональной мотивации студентов-архитекторов через исследование причин и целей выбора профессии архитектора. Основной задачей стало выявление индивидуальной и групповой структуры мотивов и целей профессиональной подготовки студентов-архитекторов на начальном этапе обучения. Для этого необходимо было разработать методику исследования, собрать эмпирический материал, обработать результаты. В качестве основного метода был выбран метод анкетирования; в качестве вспомогательного – метод экспертных оценок.

Предварительный перечень возможных причин выбора профессии архитектора был составлен на основе изучения литературы по мотивации профессионального выбора [3, 10]. С помощью метода экспертных оценок этот перечень был дополнен и утвержден. В качестве экспертов выступили преподаватели кафедр факультета общей архитектурной подготовки.

Структура анкеты связана с классификацией мотивов профессиональной деятельности [3], в которой выделяют внутреннюю и внешнюю мотивацию. Источником профессионального развития и

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

совершенствования человека являются «внутренние» мотивы, порождаемые в сознании человека самой профессиональной деятельностью, процессом и результатом труда. На основе такой мотивации человек трудится с удовольствием, без внешнего давления; она обеспечивает длительную, устойчивую продуктивность и удовлетворенность. Внутренними мотивами выбора профессии архитектора в анкете выступают: осознание наличия способностей (рисовать, чертить, конструировать); интерес к архитектуре; интерес и склонность к созданию архитектурных объектов; желание приносить пользу другим людям, создавая архитектурную среду; желание создавать эстетические ценности; желание заниматься творческой работой.

Другая группа возможных причин выбора профессии архитектора не отражает сущности данной профессиональной деятельности. Здесь следует обратиться к понятию внешней мотивации: это, например, материальное стимулирование, продвижение по работе, одобрение, престиж. Если преобладает внешняя мотивация, труд теряет самостоятельную ценность, превращается в деятельность, совершаемую под давлением внешней необходимости; человек ориентируется на сугубо личные интересы. Внешними мотивами выбора профессии архитектора в анкете выступают: возможность хорошего заработка в будущем; востребованность архитекторов на рынке труда; достаточно высокий престиж профессии; возможность получить признание других людей, авторитет среди них; возможность влиять на жизнь людей и решать важные задачи; возможность реализовать в будущем способности к руководящей работе; возможность использовать профессиональные умения для себя, вне работы; возможность принадлежать к профессиональному кругу архитекторов; желание общаться с интересными творческими людьми; возможность личного развития; желание получить универсальное художественно-техническое образование; советы родителей; пример друзей; невозможность получения другой, более привлекательной профессии. Также в анкете было отражено возможное наличие предшествующего опыта – «допрофессионального» (обучение в архитектурной детской школе) и «семейного» (наличие родственников-архитекторов). Необходимо было указать наличие опыта и степень его влияния на выбор профессии.

При составлении анкеты использовался принцип шкалированных вопросов, позволяющий получить оценку каждого ответа в виде числа и затем провести статистическую обработку полученной информации. Анкета сопровождается инструкцией. Этап 1: «Отмечайте на каждой шкале, в какой степени перечисленные причины выбора профессии архитектора повлияли лично на вас. При этом «0» – отсутствие влияния данной причины на ваш выбор, «10» – максимальное влияние данной причины». Этап 2 – «Пожалуйста, ответьте, что вы считаете необходимым для подготовки к профессиональной деятельности архитектора». Ответы позволяют определить факторы, представляющиеся студентам значимыми для профессионального развития. Этап 3 – «Кем я вижу себя через 10 лет», «через 20 лет» или вообще в будущем. Ответы позволяют выделить такие признаки как: представления о будущем профессиональном развитии, его потенциале; уровень притязаний; а в целом – «образ желаемого будущего», то есть цели профессионального и личностного развития.

Исследование проводилось в 2006-2009 гг. с участием студентов первого курса факультета общей архитектурной подготовки в первые дни их учебной деятельности. В этой ситуации на результаты еще не могли повлиять такие факторы, как приобретенный опыт обучения, расширение в нем представлений о профессии архитектора и сущности решаемых в ней задач, обмен мнениями в группе о причинах выбора профессии, о личных целях и профессиональных планах.

Результаты анкетирования можно рассматривать по нескольким направлениям. Во-первых, это анализ индивидуальной системы мотивационных факторов – причин выбора профессии архитектора, необходимых факторов профессионального развития, представлений о целях и собственном потенциале профессионального развития – полученной для каждого опрошенного студента. Для преподавателя это индивидуальная система данных (с одной стороны – уровень реальных достижений студента, с другой – причины выбора профессии и личные цели), позволяющая оптимизировать процесс обучения, скорректировать педагогические воздействия, осуществить индивидуальный подход.

Во-вторых, можно подвергнуть полученные результаты статистическому анализу, получив своеобразный «мотивационный портрет» обследованной группы. Также возможен сравнительный анализ результатов юношей и девушек, помогающий выявить гендерные особенности выбора профессии архитектора. Возможно и обобщение результатов всех опрошенных студентов.

Использовав для данного исследования последние направления анализа, можно заключить, что в целом главной причиной выбора профессии архитектора оказывается желание заниматься

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

творческой работой. За ним следуют интерес к архитектуре, интерес и склонность к созданию архитектурных объектов, желание создавать эстетические ценности. Также значимыми оказываются осознание своих способностей и возможность личного развития. Минимальное влияние на выбор профессии архитектора, по данным анкетирования, оказали советы родителей, пример друзей, невозможность получения другой, более привлекательной профессии. В целом видно, что по обобщенным оценкам преобладают внутренние мотивы профессионального выбора, что, как было показано выше, должно способствовать формированию положительной профессиональной мотивации и эффективной профессиональной подготовке (конечно, при адекватных внешних и внутренних условиях развития студентов).

Различия в причинах выбора профессии архитектора у юношей и девушек варьируют в разных группах, при этом затрагивая только внешние мотивационные факторы. Обобщая все полученные данные, можно заключить, что у юношей при выборе профессии архитектора несколько преобладают, по сравнению с девушками, соображения рационального характера – высокий престиж профессии, востребованность архитекторов на рынке труда, возможность использовать профессиональные умения архитектора для себя, вне работы. В некоторых группах у девушек сильнее выражены такие причины, как возможность получить признание, авторитет благодаря профессии архитектора; возможность личного развития в профессии архитектора.

Количество студентов, получивших допрофессиональный опыт в детских архитектурных школах, колеблется в группах от 10 до 40 %. При этом степень влияния этого опыта на выбор профессии архитектора индивидуально различна – от низких до самых высоких значений. Количество студентов, имеющих родственников-архитекторов, в некоторых группах достигало 50 %. Влияние самого факта наличия такого «семейного» опыта на выбор профессии архитектора также различно; примерно половина опрошенных признала сильное влияние данного фактора на их профессиональный выбор; половина указала слабое влияние фактора.

Второй этап анкетирования дал информацию о предполагаемых студентами условиях профессионального развития. Среди них можно выделить: необходимость определенного поведения (посещать занятия, добросовестно учиться, прилагать много усилий); необходимость высокой мотивации (желание достичь высот профессии, поставить высокую цель, с желанием и любовью относиться к профессии); необходимость развития некоторых личностных качеств (трудолюбие, упорство, терпение, постоянное стремление к самосовершенствованию, нестандартный образ мышления, находчивость, коммуникабельность); получение знаний и навыков (научиться красиво рисовать, уметь хорошо чертить, чувствовать цвета, развить воображение, воспитать художественный вкус); получение опыта работы (участвовать в конкурсах, найти работу по специальности на старших курсах). По этим ответам можно выделить студентов, имеющих более системные представления (например: «Чтобы подготовиться к профессиональной деятельности архитектора, необходимо образование, соответствующие качества, опыт работы, практика») и чаще встречающихся студентов с фрагментарными или формальными представлениями (например, только «необходимо хорошо учиться»). Также можно выделить студентов, уделяющих большее внимание формированию умений, и студентов, подчеркивающих важность развития различных психологических качеств. В целом, можно заключить, что представления первокурсников о факторах собственного профессионального развития нуждаются в дополнениях и систематизации.

Третий этап анкетирования позволяет выявить «образ желаемого будущего», что соответствует понятию профессиональных и жизненных целей. Полученные ответы студентов можно классифицировать следующим образом. В 15 % случаев (у девушек несколько чаще, чем у юношей) встречается отсутствие профессиональных целей (например, «Я – успешный, счастливый человек; «Через 10 лет я – сложившаяся личность, стремящаяся к покорению новых вершин; у меня широкий круг общения»). В 12 % случаев обнаруживается «узкая» профессиональная цель («Через 10 лет я вижу себя архитектором»); еще реже – отсутствие осознаваемых целей («Я еще не вижу себя через 10 лет»). Чаще всего, в 55 % случаев, встречаются достаточно реалистичные профессиональные цели, иногда дополненные и личными (например, «Я – не особо крупный архитектор, но неплохой специалист»; «Вижу себя простым архитектором с семьей»; «Через 10 лет я работаю в архитектурной (строительной) фирме, а еще через 10 лет я вижу себя руководителем фирмы»; «Надеюсь, я стану профессиональным архитектором, создавшим какие-нибудь интересные проекты, которые воплотились в реальность»). И, наконец, в 10 % случаев можно встретить цели, которые в принципе нельзя назвать абсолютно недостижимыми, но которые свидетельствуют о высоком уровне личных притязаний студентов (например, «Стать значимым архитектором страны»; «Стать главным архитектором города»).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Итак, проведенное исследование позволило изучить особенности стартового этапа формирования учебной и профессиональной мотивации студентов-архитекторов через исследование причин и целей выбора профессии. При обобщении результатов всех опрошенных студентов обнаружились предпосылки формирования положительной профессиональной мотивации. При этом нельзя забывать о том, что профессиональная мотивация – это многоактовый процесс, который продолжается на протяжении всей профессиональной жизни человека и его наличные характеристики связаны как с предшествующим уровнем развития, так и с внешними и внутренними условиями последующего уровня. Дальнейшее развитие профессиональной мотивации студентов, таким образом, зависит от совокупности внутренних и внешних причин, важнейшими из которых остаются формирование профессионального самосознания студентов и воздействие педагогов.

Проведение исследования вызвало большой интерес преподавателей и желание глубже познакомиться с его результатами для более адекватной организации индивидуальной работы со студентами. Полученные индивидуальные системы данных могут помочь оптимизировать процесс обучения, скорректировать педагогические воздействия, осуществить индивидуальный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов А.В., Иванова Г.И., Нечаев Н.Н. Архитектура и психология: Учеб. пособие для вузов / – М.: Стройиздат, 1993. – 295 с.
2. Зеер Э.Ф. Психология профессионального развития: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с.
3. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы. – СПб.: Питер, 2000. – 512 с.
4. Кандилис Ж. Стать архитектором. – М.: Стройиздат, 1979. – 272 с.
5. Мастера архитектуры об архитектуре. – М.: Искусство, 1972. – 591 с.
6. Мастера советской архитектуры об архитектуре. В 2-х т. – М.: Искусство, 1975.
7. Нечаев Н.Н., Усов В.Р. Опыт перестройки начального этапа вузовской подготовки (на примере архитектурно-строительных специальностей). – М., 1989. – 60 с.
8. Николаев И.С. Профессия архитектора. – М.: Стройиздат, 1984. – 384 с.
9. Дьяченко М.И., Кандыбович Л.А. Психология высшей школы: Учеб. пособие / – Мн.: Тесей, 2003. – 352 с.
10. Тутубалина Н.В. Твоя будущая профессия: сборник тестов по профессиональной ориентации. – Ростов н/Д: «Феникс», 2005. – 288 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 728.9
Т.А. Крамина – доцент
E-mail: dobrogelatel@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВОПРОСЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты анализа современного опыта проектирования сельскохозяйственных объектов для содержания крупного рогатого скота. Рассмотрены особенности эксплуатационных воздействий на конструктивные элементы.

Даны рекомендации по проектированию объёмно-планировочных и конструктивных решений универсальных сельскохозяйственных зданий для современных мегаферм.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: содержание животных, мегаферма, металлические конструкции, агрессивная среда.

T.A. Kramina – assistant professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

PROBLEMS OF ARCHITECTURAL ENGINEERING OF AGROINDUSTRIAL ENTERPRISES OF DIARY DIRECTION

ABSTRACT

The article represents the results of up-to-date engineering analysis of agricultural facilities for cattle breeding. Features of maintenance impact on constructional elements were analyzed. The article also includes recommendations on engineering of spatial-planning and functional solutions of multifunctional agricultural building structures for modern megafarms.

Keywords: cattle breeding, a megafarm, metal structures, aggressive environment.

В настоящее время перед агропромышленным комплексом Республики Татарстан ставится актуальная задача выхода на новый уровень производства продукции молочного скотоводства за счёт широкого внедрения высоких технологий. Решение этой проблемы предусматривается в процессе реализации республиканской программы «100», заключающейся в государственной поддержке сотни наиболее перспективных сельскохозяйственных организаций РТ, которые должны обеспечить технологический прорыв в аграрном секторе экономики.

На сегодняшний день в Республике Татарстан ведётся работа по строительству новых животноводческих комплексов и реконструкции ныне действующих ферм, основанная на внедрении европейских технологий организации сельскохозяйственного производства. В ходе реализации национального приоритетного проекта «Развитие АПК в РТ» силами компаний «Красный Восток-Агро», ЗАО «Холдинговая компания Золотой колос», ОАО «Вамин Татарстан», ООО «Бахетле-Агро», ОАО «Холдинговая компания «Ак Барс» и др. построено свыше 40 молочных комплексов в Алексеевском, Верхнеуслонском, Зеленодольском, Апастовском, Заинском, Лаишевском и других районах республики.

Республика Татарстан осуществила пилотные проекты по закупке и установке техники от ведущих отечественных и зарубежных производителей, таких как: фирма «Фемакс» (Москва), «DeLaval» (Швеция), «Westfalia Surge» (Германия), «SAS» (Дания). В результате аналитической оценки всех параметров, качества, надёжности, уровня сервисного обслуживания и стоимости, предпочтения были отданы оборудованию фирмы «DeLaval». В связи с этим особого внимания заслуживает опыт Агрофирмы «Элита». Изучение и анализ реализованных пилотных проектов позволяет нам вырабатывать базовую перспективную модель Агропромышленного комплекса. Остановимся на основополагающих особенностях этой модели.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Особую озабоченность на сегодня вызывает состояние территорий сельскохозяйственных комплексов. На начальной стадии грамотный подход к выбору участка под строительство АПК требует особо квалифицированного учёта районной планировки, рельефа местности, геологических и гидрогеологических условий. Обязательным является наличие резервных территорий. Под крупные животноводческие комплексы и мегафермы следует отводить до 30 га земли. Генпланы должны предусматривать чёткое зонирование с выделением 4 зон: производственной, кормоприготовительной, хозяйственной и зоны хранения и утилизации отходов. Особое внимание следует уделить созданию на территории АПК благоприятного микроклимата. С этой целью должны быть разработаны мероприятия по аэрации территории сельскохозяйственных ферм и инсоляции выгульных площадок. Все животноводческие комплексы следует проектировать в режиме предприятий закрытого типа, что требует установки дезбарьеров и дезблоков.

Во вновь создаваемой модели АПК особую роль следует отводить благоустройству участка с целью решения следующих задач: улучшить планировочную организацию территории, её эксплуатационно-хозяйственные качества, санитарно-гигиенические и противопожарные характеристики, архитектурно-художественный и эстетический уровень. Должный подход к решению вышеперечисленных задач способен поднять культуру сельскохозяйственного производства на новую ступень и сделать его конкурентоспособным на экономическом рынке.

В основу модели АПК следует закладывать новый подход к содержанию животных. Превалирующий сегодня на фермах метод привязного содержания изжил себя. Отечественный и мировой опыт показывает, что в молочном скотоводстве наиболее перспективна технология с беспривязным содержанием, и доение коров при этом осуществляется в специально проектируемых доильных залах, а не в стойлах, как это производится во всех традиционных отечественных коровниках. Отказ от стойлового привязного содержания животных требует такой планировки помещений, при которой обеспечивается возможность установить в доильных залах поточные эффективные автоматизированные доильные установки, позволяющие повысить производительность труда оператора, максимально использовать генетический потенциал молочного стада, автоматизировать индивидуальный учёт удоев, улучшить уход, сократить путь молока до охладителя, улучшить санитарно-гигиенические условия. Принципиально новых решений требует планировка доильных залов.

Максимальная пропускная способность достигается в тех доильных залах, в которых станки расположены:

1. Под углом 30^0 или 50^0 («Ёлочка»);
2. Параллельно («Европараллель», «Каскад»);
3. По кругу («Карусель», «Плавающая карусель») (рис. 1, 2, 3).

Индустриальные молокопроизводящие предприятия с подобной формой использования таких крупных доильных установок требуют принципиально нового подхода к объёмно-планировочной организации пространства. При этом преобладающие на сегодняшний день пролётные планировочные схемы не соответствуют функционально-технологическим требованиям. С наибольшей степенью рациональности и экономичности здесь применима зальная планировочная схема, при которой крупногабаритный доильный зал, являясь композиционным и функциональным ядром всего сооружения, представляет собой свободную от внутренних опор площадь.

Новая модель объектов АПК должна строиться с учётом целого ряда специфических особенностей сельскохозяйственного строительства, таких как: рассредоточенность и удалённость объектов от производственной зоны, отсутствие строительно-технической базы, сложность транспортировки конструкций, плохая дорожная инфраструктура, отсутствие крупных средств механизации, агрессивность эксплуатационной среды, острота экологических проблем и прочее. В соответствии с этим были определены требования к новым типам зданий для содержания КРС, такие как:

- обеспечение гибкости технологического процесса, возможности эффективной модернизации;
- организация комплексной механизации трудоёмких процессов кормораздачи, доения, навозоудаления и др.;
- полное соответствие планировочного решения технологической и функциональной схемам в условиях перехода на беспривязное содержание животных;
- снижение стоимости строительства за счёт применения современных конструктивных решений;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- быстрый и надёжный строительный монтаж за счёт использования унифицированных сборных элементов и узлов из сопряжения;

- снижение веса и материалоёмкости здания за счёт применения облегчённых конструкций, позволяющих использовать при их монтаже механизмы небольшой грузоподъёмности и высокой мобильности;

- обеспечение долговечности конструкций в условиях переменного температурно-влажностного режима и агрессивной среды за счёт применения соответствующих строительных материалов и современных средств их защиты;

- организация культуры производства за счёт использования механизированных способов очистки помещения от пыли, грязи, остатков пищи и навозных масс;

- создание микроклимата, комфортного для животных и обслуживающего персонала, за счёт разработки новейших систем аэрации, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также обеспечение нормированного уровня инсоляции.

Создание оптимального микроклимата в помещениях для содержания животных является важнейшей задачей проектировщика. Средняя внутренняя температура должна поддерживаться в пределах от -7 ^{0}С до + 25 ^{0}С и умеренной относительной влажностью воздуха (70 %). Достигнуть этих параметров в современных коровниках и телятниках, проектируемых без отопительных систем и должной вентиляции, не удаётся. В течение года в помещениях наблюдаются сезонные колебания температуры и влажности воздуха, образование конденсата и оседающей на поверхностях конструкций кормовой пыли. В составе атмосферного воздуха наблюдается присутствие агрессивных газов: аммиака, углекислоты и сероводорода, превышающих нормативно допускаемую величину; относительная влажность достигает порой 95-100 %, температура в холодные декады зимы опускается ниже -25 ^{0}С, а в летние дни поднимается зачастую выше 30 ^{0}С, вызывая стрессовые состояния животных и резко снижая продуктивность.

Для исключения вышеперечисленных недостатков рекомендуется вновь проектируемые объекты решать в виде крупногабаритной стальной ангарной конструкции фронтального типа (рис. 1). Стены этих зданий имеют необычное решение, представляющее собой трансформирующуюся конструкцию. Это позволяет открывать и закрывать боковые стены и фронтон, оперативно приспосабливая здания к изменившимся климатическим условиям. Поднимающиеся и опускающиеся плиты, тенты или защитные сетки дают возможность летом превратить помещение в большой «солнечный зонт», а зимой защитить помещение от непогоды. Простые механические канаты и шарниры обеспечивают необходимую подвижность систем. Будучи присоединёнными к термостатам, они регулируют степень открытости помещения и таким образом поддерживают стабильный микроклимат. Кроме того, в целом ряде случаев целесообразно и весьма эффективно организовывать спиральное проветривание [3]. В этом случае свес крыши, ширина которого принимается не менее 1 м, служит солнцезащитным устройством. В то же время применение открытых коровников со стенами «шторного» типа в климатических условиях РТ себя не оправдало, поэтому их можно рекомендовать лишь для южных районов России [2].

Внедрение инноваций в сельскохозяйственном производстве заключается в постоянном совершенствовании технологических процессов получения продукции. В частности, технологическое оборудование морально устаревает за 5-7 лет [1], что во много раз меньше срока службы самих зданий. Вместе с тем наличие в зданиях промежуточных опор в большинстве случае препятствует модернизации технологических процессов: применению мобильных средств механизации, рациональному размещению стационарных установок, устройству подпольных коммуникаций, организации потоков движения животных и т.п. Здания без внутренних опор лишены указанных недостатков. Они обеспечивают гибкость планировки и возможность производить перепланировку в процессе модернизации без капитальных затрат.

До настоящего времени основными конструктивными схемами сельскохозяйственных зданий являлись стоечно-балочные системы, схемы с применением различных ферм, распорных рам и арок. Наибольшее распространение в этих каркасах получили трёхшарнирные железобетонные рамы пролётами 12, 18 и 21 м. Наряду с железобетонными конструкциями внедрялись клееные деревянные балки, арки, фермы и рамы. Однако, они также позволяли перекрывать весьма ограниченные пролёты (3-18 м), не отвечающие концепциям универсальности. Металлические конструкции, если и применялись в сельскохозяйственных объектах, то очень редко.

Попытки использовать разработанные для выше названных решений габаритные схемы в условиях модернизации производства не дали должных результатов. Объясняется это не

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

соответствием объёмно-планировочных и конструктивных решений современным функциональным и технологическим требованиям, новой форме организации содержания, кормления, доения и ухода за животными.

В настоящее время, когда возникла необходимость перекрывать пролёты, равные 24 м и выше, технико-экономическая целесообразность проектируемых решений диктует необходимость более широкого внедрения в практику сельскохозяйственного строительства облегчённых металлических конструкций.

Требования качественно нового подхода к проектированию металлических конструкций для сельскохозяйственных объектов предопределяются специфическими условиями их изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации, а также технологическими особенностями сельскохозяйственного производства. Данные условия не позволяют в полной мере использовать здесь металлические конструкции, применяемые в гражданском и промышленном строительстве.

Технико-экономические расчёты и опыт экспериментального проектирования подтверждают целесообразность применения для универсальных зданий сельскохозяйственного назначения каркасных и рамных конструкций из стали или её сплавов. Причём, особое распространение должны получить разработанные специально для сельскохозяйственного строительства особо лёгкие стальные конструкции. Расход металла на такие конструкции находится на уровне (или даже ниже) расхода арматуры в железобетонных конструкциях, и значительно меньше, чем на традиционные стальные конструкции [1]. Особо лёгкие стальные сварные конструкции, изготавливаемые из обычной углеродистой стали, способны заменить тяжёлые железобетонные. Однако, при всех преимуществах металлических конструкций нельзя не учитывать дополнительные расходы на защиту их от воздействия агрессивной среды и огня.

Помимо высокой влажности и загазованности, в животноводческих зданиях наблюдается значительная запыленность, что способствует повышению скорости коррозии. Следовательно, одной из важнейших задач, связанных с применением металлоконструкций в сельскохозяйственных зданиях, является обеспечение их долговечности в особо сложных условиях их эксплуатации. В качестве наиболее рациональных методов защиты можно рекомендовать следующие:

1. Уменьшение агрессивности среды за счёт снижения относительной влажности;
2. Применение обтекаемых и замкнутых профилей: трубчатых, двухстеночных коробчатых или с наклонными стенками вместо уголковых, двутавровых и швеллерных;
3. Изолирование поверхностей металла от коррозирующего путём нанесения современных антикоррозийных покрытий;
4. Применение металлизации путём горячего цинкования;
5. Изолирование металла от корродирующего агента путём вынесения конструкций за пределы помещения и крепления стенового ограждения к внутренним поверхностям металлоконструкций, а также за счёт устройства подвесного потолка, при условии активной вентиляции надпотолочного пространства.

Удачным примером реализации этого направления на территории Республики Татарстан являются проекты агрофирмы «Элит» (рис. 3). Несущий каркас из стальных рам применён в условиях повышенной относительной влажности воздуха (> 75 %) и аммиачных, углекислых и сероводородных выделений. Стальная рама каркаса отделена от агрессивной среды помещения ограждающими конструкциями, при этом ригель заключён в образованную подвесным потолком и кровлей полость, которая активно вентилируется. Активная вентиляция этой зоны создаётся устройством жалюзийной решётки в карнизном узле и вентиляционного блока в коньке.

Кроме этого, в данной работе были изучены объекты следующих агрофирм: «Нуркеево», «Вамин-Аксу», «Зай», «Джалиль», «Вамин Арга», «Вамин-Марджанн», «Вамин-Буа», «Татарстан», «Таканыш», «Вамин-Чистай» и пр.

Заключение.

Переход сельского хозяйства к рыночным отношениям вызвал необходимость разработки новой концепции интенсификации сельскохозяйственного производства с использованием результатов научно-технического прогресса: механизации и автоматизации производственных процессов, достижений сельскохозяйственных и биологических наук, результатов маркетинговых исследований рынка и др. Всё это потребовало разработки новых эффективных объёмно-планировочных и конструктивных решений и апробации их в целом ряде хозяйств РТ.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 1. Современный открытый коровник

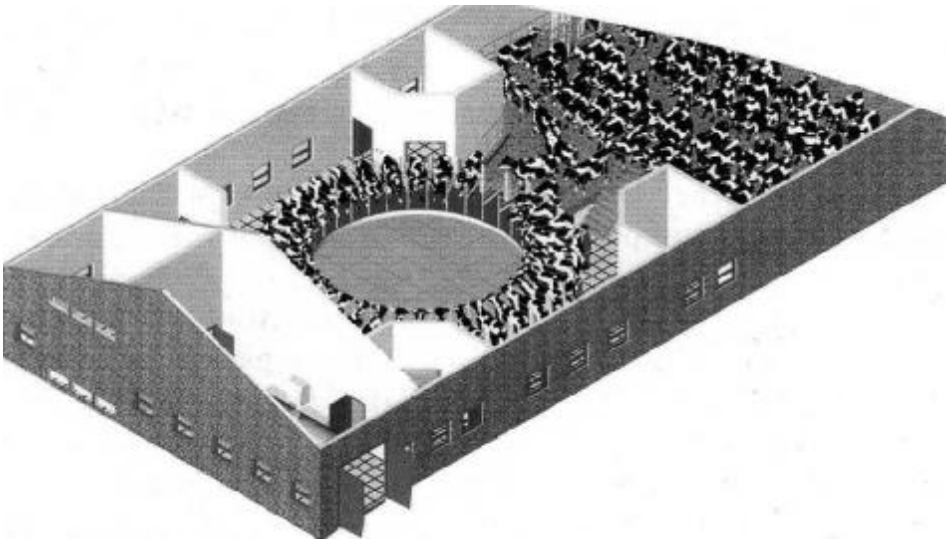


Рис. 2. Схема передвижения коров в доильном зале «Карусель»
с параллельными доильными стойлами

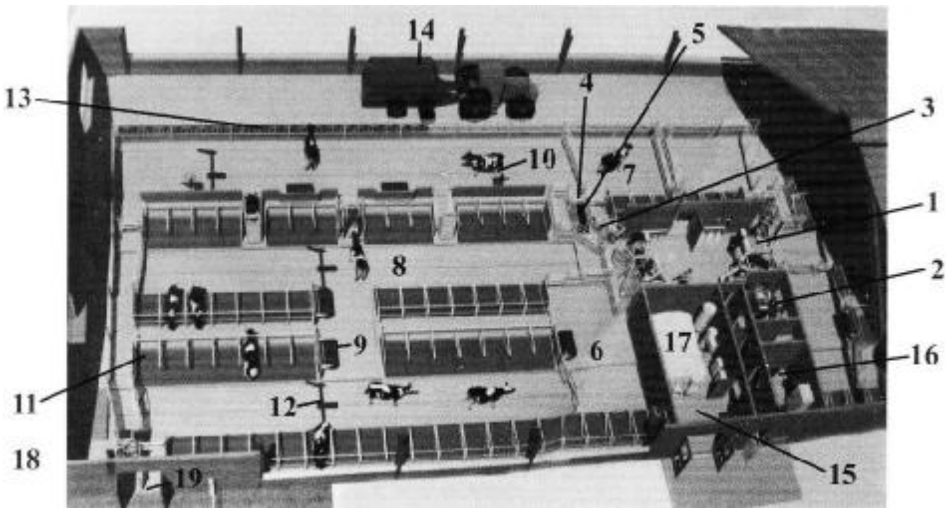


Рис. 3. Схема коровника с системой добровольного доения:
1 – робот-дояр (VMS); 2 – служебная комната с компьютером; 3 – сортировочные ворота;
4 – ворота в одну сторону; 5 – ножная ванна; 6 – накопитель; 7 – загон для задерживания и обработки;
8 – автоматическая кормовая станция; 9 – поилки; 10 – автоматическая щётка; 11 – индивидуальные стойла для отдыха; 12 – дельта-скрепер; 13 – кормовой стол с ограждением; 14 – кормосмеситель-кормораздатчик;
15 – молочное отделение; 16 – машинное отделение; 17 – охладитель; 18 – проход на выгульную площадку;
19 – выход на выгульную площадку

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

По прошествии нескольких лет эксплуатации экспериментальных мегаферм возникла возможность проанализировать этот опыт, выявить целый ряд недостатков и в конечном итоге дать рекомендации конкретных технических решений для дальнейшего совершенствования и успешного осуществления инновационных проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гераскин Н.Н. Архитектурное проектирование агропромышленных предприятий. – М.: Агропромиздат, 2009. – 238 с.
2. Осмоловский М.С. Архитектурное проектирование предприятий молочного производства. – М.: КОЛОС, 2009. – 429 с.
3. Файзрахманов Д.И. Организация молочного скотоводства. – Казань: Изд-во КГУ, 2007. – 351 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.009
А.О. Акатьева – аспирант, старший преподаватель
E-mail: akatyeva@gmail.com
Е.С. Евсеев кандидат архитектуры, доцент
E-mail: evseev_kazan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АРХИТЕКТУРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ В РАМКАХ ОСВОЕНИЯ РЫНКА КАЗАНИ ИНОСТРАННЫМИ АРХИТЕКТОРАМИ

АННОТАЦИЯ

В данной статье описан феномен презентации иностранных архитекторов в Казани с позиции развития интернационального бизнеса и международного сотрудничества и определены их историко-культурные предпосылки и перспективы. Казань рассмотрена с позиции привлекательности осуществления в городе проектной и конкурсной деятельности, в том числе и иностранными архитекторами. Среди ключевых критериев, определяющих преимущество города, по сравнению с аналогичными городами России, выделена практика привлечения крупных инвестиций и реализации градостроительных мегапроектов в Казани. Архитектурная презентация в рамках данной статьи рассмотрена как средство развития бизнеса и выхода на новый рынок, а опыт презентации иностранных архитекторов в городе – как элемент стимуляции местных архитекторов к ведению активной маркетинговой деятельности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектурная презентация, иностранные архитекторы, Казань, мегапроект, интернациональный архитектурный бизнес, международное сотрудничество, «Универсиада-2013», «Тысячелетие Казани».

A.O. Akatyeva – post-graduate student, senior lecturer
E.S. Evseev – candidate of the architecture, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

ARCHITECTURAL PRESENTATION WITHIN FOREIGN ARCHITECTS' ARRIVAL AT THE KAZAN ARCHITECTURE MARKET

ABSTRACT

The article describes the phenomenon of the foreign architects' presentation in Kazan with international business development position. Kazan is considered as an attractive place for design and competitive activities of local and foreign architects. The practice of attracting large investments and implementation of urban mega-projects in Kazan is highlighted as one of the key criteria for determining the advantage of the city, compared with similar Russian cities. Architectural presentation is considered as an element of business development and entering new markets. Experience of the presentation of foreign architects in the city is defined as part of the stimulation of local architects to conduct intensive marketing activities.

KEYWORDS: Architectural Presentation, foreign architects, Kazan, mega-project, international architecture practice, international cooperation, Universiade-2013, Kazan Millennium Celebration.

«Нет пророка в родном отечестве»

Явление презентации иностранных архитекторов в Казани изучено довольно поверхностно. Факты приезда гостей-архитекторов фиксируются в новостях, на сайте администрации города и на ресурсах, связанных с деятельностью архитекторов. Фрагментарная информация в виде интервью и пресс-релизов попадает в отраслевые журналы. Авторы данной статьи анализируют феномен приезда сторонних специалистов в области архитектуры и строительства с двух позиций. Первая – это рассмотрение технологии освоения архитекторами нового рынка посредством активной «само-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

презентации». Вторая область изучения, находящаяся в непосредственной связи с первой, – это те экономические предпосылки, которые привлекают архитекторов именно в этот город, и, в частности, реализуемые в Казани мегапроекты («Ликвидация ветхого жилья», «Тысячелетие Казани», жилой район «Старый Аэропорт», «Город на воде», «Универсиада-2013»).

Данный обзор представляет описание технологии начального этапа освоения нового рынка на примере города Казани и выявляет некие социально-исторические причины «отставания» российских архитекторов в аспекте маркетинга своей деятельности. Вопрос был изучен авторами на основании анализа первичных и вторичных источников. К первичным источникам относятся непосредственные посещения презентаций (Эрик ван Эгераат, Atkins, NBBJ, HOK, Populous, Speech, Gibbons Architect) и эмпирические знания, полученные в рамках международного сотрудничества «Мастерской архитекторов Евсеева Е.С. и Новикова Н.М.» (1990-2008 гг.) и ГУП «Татинвестгражданпроект» (2007-2010 гг.) с архитекторами Хосе Асебильо Марин («AuS», Швейцария), Массимо Зардо («Zardo+Scarso architects», Италия) и Даймон Лавель («Populous», Англия). Кроме того, были обобщены данные интервью по вопросу презентации с представителями 15 американских архитектурных фирм, проведенных Акатьевой А.О. в 2009 году. К вторичным ресурсам относится изучение периодических публикаций в региональных и федеральных печатных и электронных источниках («ДиНА», «Стройэкспертиза», «Архи.ru» и проч.).

Актуальность данного исследования обусловлена общей тенденцией развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования и строительства как в Казани, так и в других передовых регионах Российской Федерации. Кроме того, подобный анализ полезен для понимания технологии освоения проектного рынка и разработки практических рекомендаций по «само-презентации» молодым архитекторам, планирующим осваивать местный, региональный и международный рынок.

Презентация как средство освоения рынка

На протяжении всей истории развития архитектуры существовал феномен «миграции» архитекторов. Архитекторы, завоевавшие известность в связи с успешным строительством в том или ином регионе, получали приглашение для реализации новых проектов на новых территориях. Средством рекламы являлись построенные объекты и молва, ходившая в обществе [1].

Современный архитектурный рынок отличается тем, что количество архитекторов значительно возросло, конкуренция усилилась, и архитектор должен сам идти навстречу заказчику, то есть проявлять активную инициативу в поиске новых заказов. К тому же современный архитектурный рынок становится все более глобальным. Появление современных коммуникационных инструментов (сотовая связь и интернет), а также развитие международных путей сообщения (авиаперелеты) решают проблемы больших расстояний при развитии деловых отношений и, в частности, архитектурного проектирования.

Реализация международного бизнеса имеет свою специфику, связанную с необходимостью активного изучения и продвижения своего бренда на глобальном рынке [2, 3]. В рамках развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования очень важным фактором становится презентация архитектора и его деятельности потенциальным заказчикам и партнерам как предпосылка для дальнейшего сотрудничества и развития бизнеса.

Россия на глобальном архитектурном рынке

Отечественные архитекторы начали входить в систему глобального архитектурного рынка совсем недавно, на десятилетия позже своих западных коллег. Советский период развития отечественной архитектурной практики не развивал такую форму реализации архитектурного проектирования, как частный бизнес. Это связано с существовавшей плановой экономикой и системой распределения государственного заказа. Архитекторы работали в крупных научно-исследовательских проектных институтах, в основном сосредоточенных в Москве («Моспроект», «ЦНИИП-Жилище», «ЦНИИП-градо» и т.д.), участвовали в архитектурных конкурсах-концепциях, либо выполняли работу по хоздоговорам при архитектурных вузах. Несмотря на то, что отечественные архитекторы в советское время приобрели определенную репутацию в мире посредством участия в «бумажных» конкурсах и разработки теоретических направлений, участие их в международном архитектурном бизнесе было незначительное.

Процесс активного продвижения иностранных архитекторов на российский рынок в постсоветский период начался со столицы. Традиция приглашения для работы в Москве

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

существовала еще с XV века, когда в столицу были приглашены для работы итальянские зодчие [4]. И сегодня Москва – это наиболее яркая инвестиционная ярмарка России, на архитектурном рынке которой выставляются проекты известнейших фирм мира «Foster+Partners», «Zaha Hadid Architects» и «RMJM»; некоторые иностранные фирмы имеют в столице свои офисы или активно сотрудничают с московскими проектными бюро и строительными концернами. Одновременно иностранные архитекторы приходят со своими предложениями и в другие города России [5].

Казань как объект проектирования

Безусловно, с архитектурной точки зрения Казань привлекательна своим историческим наследием и соединением двух культурных традиций. В этом смысле Казань – город неординарных культурных соседств, исторических срезов и интересных решений. В городе можно отчетливо видеть переплетение культурно-исторических слоев XVI-XIX веков, архитектуры советского периода и современных зданий. Эта многоплановость казанского архитектурного ландшафта ставит перед архитекторами сложные и одновременно интересные творческие задачи.

Однако желание оставить свой след в летописи архитектурной истории Казани не является единственным мотивом для прихода иностранных архитекторов на местный рынок. Поскольку архитектура сегодня – это открытый бизнес, приходящие на местный рынок архитекторы заинтересованы в получении прибыли и реализации в строительстве. Поэтому развитие строительного бизнеса и приток инвестиций к региону в значительной степени определяют привлекательность Казани для зарубежных и московских архитекторов.

Презентация Казани

Республика Татарстан имеет репутацию преуспевающего региона России с ценными природными ресурсами и сбалансированной политикой. С 2006 года Казань – столица республики – позиционирует себя как «третья столица России» (после Москвы и Санкт-Петербурга). Это право было официально зафиксировано в Роспатенте в 2009 году [6]. Кроме того, за городом закрепилась и слава «самого северного центра Ислама в мире».

Определенную репутацию и импульс к экономическому росту и развитию город приобрел в связи с реализацией здесь **мегапроектов**. Суть мегапроектов заключается в привлечении крупных инвестиций в строительство или реконструкцию в четко ограниченный период времени, а также в пропаганде знакового явления (осуществление приоритетной федеральной программы или международного события). На настоящий момент можно выделить следующие мегапроекты в Казани:

– «Республиканская программа ликвидации ветхого жилья» (1995-2005 гг.);
– «Празднование тысячелетия города Казани» (2000-2005 гг.);
– Жилой район «Седьмое небо» на территории Старого Аэропорта (2005-2007 гг.);
– Проект планировки территории правого берега г. Казанки (2005-2007 гг.);
– «Международные летние игры студентов «Универсиада-2013» (2008-2013 гг.).

Мегапроекты имеют как позитивное, так и определенное негативное влияние на городскую структуру и жизнь горожан. Однако, неоспорим тот факт, что они стимулируют городское развитие и привлекают сторонних архитекторов, так как для оперативной реализации мегапроекта необходим выход за рамки традиционного процесса проектирования и использование международного опыта реализации аналогичных крупных проектов. Когда в городе происходит «раскрутка» очередного мегапроекта, ответственные люди начинают искать тех, кто помог бы реализовать высокие амбиции.

Место встречи

С одной стороны, есть архитекторы, которые ищут новые регионы освоения. С другой стороны, город, нацеленный на реализацию мегапроекта. Вариантов точек пересечения взаимных интересов несколько. Заказчик может объявить международный конкурс и тем самым собрать определенный комплекс инновационных предложений. Архитектор может также проявить инициативу, послав свое портфолио и предложение о сотрудничестве. Третий вариант подразумевает наличие нейтрального пространства, где покупатель и продавец встретятся (образ ярмарки).

Встреча на нейтральной территории наиболее благоприятна ввиду того, что никого ни к чему не обязывает и дает запас времени для принятия соответствующих решений и детального знакомства с потенциальным партнером. Сегодня общепринятым местом встреч являются инвестиционные выставки и форумы. Ярким примером может служить инвестиционная выставка MIPIM (Канны,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Франция), собирающая около 30 тыс. участников из 83 стран мира. Казань ежегодно принимает участие и выставляет свои инвестиционные площадки на этой выставке. Так, например, первое знакомство представителей казанской и татарстанской администрации с архитекторами Эриком ван Эгераатом (Нидерланды) и профессором Хосе Асебильо Марин (Швейцария) произошло именно в рамках MIPIM. Формат проведения подобного рода публичных событий подразумевает лишь предварительное знакомство.

Непосредственная презентация

Когда совершен ритуал предварительного знакомства или официального представления, архитектор имеет возможность презентовать себя и свое портфолио потенциальному заказчику, продемонстрировать свой профессиональный опыт, понимание города и его проблем. Обычно вторая встреча происходит уже на месте потенциального проектирования в рамках дружественного визита. Примером активной заявки на участие в градостроительном развитии города может служить проведение проектного семинара «Архдесант» в 2006 году, в рамках которого архитектор Хосе Асебильо Марин познакомился с Казанью и обозначил наиболее актуальные проблемы и потенциалы. В рамках семинара сборными командами молодых казанских, московских и европейских архитекторов под модерацией архитектора были разработаны проектные предложения и подготовлена широкомасштабная презентация с участием администрации города, профессиональной общественности и СМИ. Другой пример презентации себя и своей деятельности в Казани является приезд архитектора Эрика ван Эгераата и его работа, связанная с проектированием Национальной библиотеки РТ.

При благоприятном развитии событий успешная презентация становится поводом для вступления в деловые переговоры и определения форм дальнейшего сотрудничества. На данном этапе решающими критериями являются экономическая целесообразность и одобрение властей города и его горожан.

Опосредованная презентация

Кроме непосредственного выступления перед общественностью и администрацией, архитектор представлен в СМИ и интернет. Телевидение и печать активно участвуют в пропаганде событий с участием иностранных архитекторов, так как это очередная возможность обратить внимание общественности на острые социальные вопросы города.

Когда приезд сторонних архитекторов в Казань начинает обсуждаться в СМИ и общественностью, проявляется дополнительный интерес к предыдущим проектам и личности архитектора. Как и индекс цитирования в научной деятельности, количество упоминаний в многотиражных источниках работает на опосредованную презентацию и общий имидж персоны. «Веб»-имидж архитектора может складываться спонтанно в процессе стихийных событий, а может быть и сознательно сформирован автором для поддержания позитивного впечатления о собственной фигуре.

Презентация местных архитекторов

Казань – город, имеющий собственную архитектурную школу, которая с 1930 года готовит специалистов в области архитектуры и строительства. Многие из выпускников Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КИСИ) впоследствии работают в области проектирования и строительства в родном городе. Преимущество местных архитекторов заключается в том, что они проектируют в городе, физический и культурно-исторический ландшафт которого им знаком и понятен. Кроме того, непосредственный опыт работы в регионе дает им представление о специфике прохождения различных этапов проектирования и строительства. Однако отсутствие опыта активного освоения рынка, как это подразумевается в региональных и интернациональных компаниях, приводит к тому, что в вопросе презентации и PR своей деятельности архитекторы Казани не проявляют высокой активности.

Сущность презентаций казанских архитекторов во многом определяется необходимостью представлять свой проект в органах согласования, на публичных слушаниях и градостроительных советах. В связи с этим презентации носят, скорее, обзорный и разъяснительный характер. Приезд же иностранных архитекторов – это событие на уровне города, которое всегда вызывает резонанс в профессиональной среде. Приезжающие архитекторы представляют не только иной взгляд на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

архитектуру города, но и презентуют себя очень смело и эмоционально, что задает определенную высокую планку и для местных кадров.

Перспектива развития

Презентация и проектирование на архитектурном рынке Казани иностранными архитекторами дает возможность местным специалистам учиться на примерах и развивать собственные презентационные навыки.

Одна из возможностей повысить свою персональную квалификацию – совместная работа с иностранными архитекторами в рамках международного сотрудничества. Адаптация и разработка проекта иностранным архитектором требует участия местных проектантов, что повышает их уровень и помогает освоить азы совместных международных проектов. Например, в ГУП «Татинвестгражданпроект» казанские архитекторы и инженеры работают совместно со швейцарскими, итальянскими, американскими, турецкими и английскими архитекторами над ключевыми объектами г. Казани и других регионов России. Работа ведется как на стадии концепции и эскизного проекта (preliminary design and schematic design), так и на рабочей стадии (construction documentation).

Другим направлением развития навыков проектирования и архитектурной презентации является обучение казанских архитекторов в вузах Европы и Америки, а также стажировка в интернациональных фирмах (Atkins, NBBJ, AuS). В настоящее время администрация города осуществляет активную политику сотрудничества с зарубежными фирмами и вузами в рамках системы грантов на обучение и стажировку. Данное сотрудничество полезно ввиду расширения профессионального обзора казанских архитекторов и знакомства с практикой интернациональной школы и практики, в которых презентации уделяется особое внимание.

Заключение

Изучение вопроса презентации иностранных архитекторов на казанском рынке важно как для понимания дальнейших стратегий международного сотрудничества города по развитию значимых проектов, так и для изучения общей технологии выхода на иностранный рынок. В связи с реализацией крупных градостроительных проектов в Казани современное поколение архитекторов стоит перед необходимостью разрабатывать объекты не только местного, но и регионального и международного значения, поэтому должно быть готовым к сотрудничеству и соревнованию с приезжими архитекторами на местном рынке. Кроме того, казанские архитекторы должны быть готовы и сами вести активное завоевание глобального архитектурного рынка. Работа на международном рынке подразумевает определенный уровень подготовки архитектора: активное владение современными медиа-инструментами (интернет, компьютерные средства), английским языком, участие в международных конкурсах и умение всесторонне презентовать свои работы [7]. Во многом это задача непосредственно самих специалистов, но важна роль и участие в этом процессе архитектурной школы Казани (КИСИ) и крупных архитектурных фирм Татарстана, которые постепенно оказываются все более вовлеченными в международную деятельность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ball D.A. International business: the challenge of global competition. – USA: McGraw-Hill Education, 2007.
2. Hill C.W. International Business Competing in the Global Marketplace. – McGraw-Hill Companies, New York, NY Inc., 2009.
3. Fletcher B. A History of Architecture. – London: Athlon press, 1975.
4. Уланова М. Иностранные архитекторы в Москве // Russian Realty. 2005. 15 ноябр. URL: http://www.russianrealty.ru/theme/100401.phtml.
5. Рябова О. Иностранные архитекторы // Деловой квартал. Екатеринбург, 2008, № 32.
6. Кряжев Р., Бегимбетова И. Казань стала «третьей столицей России» // «Коммерсант», 2009, № 59 (4114).
7. Pawlay N. Foster: A Global Architecture. – NY: Universe publishing, 1999.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.009
А.О. Акатьева – аспирант, старший преподаватель
E-mail: akatyeva@gmail.com
Е.С. Евсеев кандидат архитектуры, доцент
E-mail: evseev_kazan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АРХИТЕКТУРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ В РАМКАХ ОСВОЕНИЯ РЫНКА КАЗАНИ ИНОСТРАННЫМИ АРХИТЕКТОРАМИ

АННОТАЦИЯ

В данной статье описан феномен презентации иностранных архитекторов в Казани с позиции развития интернационального бизнеса и международного сотрудничества и определены их историко-культурные предпосылки и перспективы. Казань рассмотрена с позиции привлекательности осуществления в городе проектной и конкурсной деятельности, в том числе и иностранными архитекторами. Среди ключевых критериев, определяющих преимущество города, по сравнению с аналогичными городами России, выделена практика привлечения крупных инвестиций и реализации градостроительных мегапроектов в Казани. Архитектурная презентация в рамках данной статьи рассмотрена как средство развития бизнеса и выхода на новый рынок, а опыт презентации иностранных архитекторов в городе – как элемент стимуляции местных архитекторов к ведению активной маркетинговой деятельности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектурная презентация, иностранные архитекторы, Казань, мегапроект, интернациональный архитектурный бизнес, международное сотрудничество, «Универсиада-2013», «Тысячелетие Казани».

A.O. Akatyeva – post-graduate student, senior lecturer
E.S. Evseev – candidate of the architecture, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

ARCHITECTURAL PRESENTATION WITHIN FOREIGN ARCHITECTS' ARRIVAL AT THE KAZAN ARCHITECTURE MARKET

ABSTRACT

The article describes the phenomenon of the foreign architects' presentation in Kazan with international business development position. Kazan is considered as an attractive place for design and competitive activities of local and foreign architects. The practice of attracting large investments and implementation of urban mega-projects in Kazan is highlighted as one of the key criteria for determining the advantage of the city, compared with similar Russian cities. Architectural presentation is considered as an element of business development and entering new markets. Experience of the presentation of foreign architects in the city is defined as part of the stimulation of local architects to conduct intensive marketing activities.

KEYWORDS: Architectural Presentation, foreign architects, Kazan, mega-project, international architecture practice, international cooperation, Universiade-2013, Kazan Millennium Celebration.

«Нет пророка в родном отечестве»

Явление презентации иностранных архитекторов в Казани изучено довольно поверхностно. Факты приезда гостей-архитекторов фиксируются в новостях, на сайте администрации города и на ресурсах, связанных с деятельностью архитекторов. Фрагментарная информация в виде интервью и пресс-релизов попадает в отраслевые журналы. Авторы данной статьи анализируют феномен приезда сторонних специалистов в области архитектуры и строительства с двух позиций. Первая – это рассмотрение технологии освоения архитекторами нового рынка посредством активной «само-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

презентации». Вторая область изучения, находящаяся в непосредственной связи с первой, – это те экономические предпосылки, которые привлекают архитекторов именно в этот город, и, в частности, реализуемые в Казани мегапроекты («Ликвидация ветхого жилья», «Тысячелетие Казани», жилой район «Старый Аэропорт», «Город на воде», «Универсиада-2013»).

Данный обзор представляет описание технологии начального этапа освоения нового рынка на примере города Казани и выявляет некие социально-исторические причины «отставания» российских архитекторов в аспекте маркетинга своей деятельности. Вопрос был изучен авторами на основании анализа первичных и вторичных источников. К первичным источникам относятся непосредственные посещения презентаций (Эрик ван Эгераат, Atkins, NBBJ, HOK, Populous, Speech, Gibbons Architect) и эмпирические знания, полученные в рамках международного сотрудничества «Мастерской архитекторов Евсеева Е.С. и Новикова Н.М.» (1990-2008 гг.) и ГУП «Татинвестгражданпроект» (2007-2010 гг.) с архитекторами Хосе Асебильо Марин («AuS», Швейцария), Массимо Зардо («Zardo+Scarso architects», Италия) и Даймон Лавель («Populous», Англия). Кроме того, были обобщены данные интервью по вопросу презентации с представителями 15 американских архитектурных фирм, проведенных Акатьевой А.О. в 2009 году. К вторичным ресурсам относится изучение периодических публикаций в региональных и федеральных печатных и электронных источниках («ДиНА», «Стройэкспертиза», «Архи.ru» и проч.).

Актуальность данного исследования обусловлена общей тенденцией развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования и строительства как в Казани, так и в других передовых регионах Российской Федерации. Кроме того, подобный анализ полезен для понимания технологии освоения проектного рынка и разработки практических рекомендаций по «само-презентации» молодым архитекторам, планирующим осваивать местный, региональный и международный рынок.

Презентация как средство освоения рынка

На протяжении всей истории развития архитектуры существовал феномен «миграции» архитекторов. Архитекторы, завоевавшие известность в связи с успешным строительством в том или ином регионе, получали приглашение для реализации новых проектов на новых территориях. Средством рекламы являлись построенные объекты и молва, ходившая в обществе [1].

Современный архитектурный рынок отличается тем, что количество архитекторов значительно возросло, конкуренция усилилась, и архитектор должен сам идти навстречу заказчику, то есть проявлять активную инициативу в поиске новых заказов. К тому же современный архитектурный рынок становится все более глобальным. Появление современных коммуникационных инструментов (сотовая связь и интернет), а также развитие международных путей сообщения (авиаперелеты) решают проблемы больших расстояний при развитии деловых отношений и, в частности, архитектурного проектирования.

Реализация международного бизнеса имеет свою специфику, связанную с необходимостью активного изучения и продвижения своего бренда на глобальном рынке [2, 3]. В рамках развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования очень важным фактором становится презентация архитектора и его деятельности потенциальным заказчикам и партнерам как предпосылка для дальнейшего сотрудничества и развития бизнеса.

Россия на глобальном архитектурном рынке

Отечественные архитекторы начали входить в систему глобального архитектурного рынка совсем недавно, на десятилетия позже своих западных коллег. Советский период развития отечественной архитектурной практики не развивал такую форму реализации архитектурного проектирования, как частный бизнес. Это связано с существовавшей плановой экономикой и системой распределения государственного заказа. Архитекторы работали в крупных научно-исследовательских проектных институтах, в основном сосредоточенных в Москве («Моспроект», «ЦНИИП-Жилище», «ЦНИИП-градо» и т.д.), участвовали в архитектурных конкурсах-концепциях, либо выполняли работу по хоздоговорам при архитектурных вузах. Несмотря на то, что отечественные архитекторы в советское время приобрели определенную репутацию в мире посредством участия в «бумажных» конкурсах и разработки теоретических направлений, участие их в международном архитектурном бизнесе было незначительное.

Процесс активного продвижения иностранных архитекторов на российский рынок в постсоветский период начался со столицы. Традиция приглашения для работы в Москве

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

существовала еще с XV века, когда в столицу были приглашены для работы итальянские зодчие [4]. И сегодня Москва – это наиболее яркая инвестиционная ярмарка России, на архитектурном рынке которой выставляются проекты известнейших фирм мира «Foster+Partners», «Zaha Hadid Architects» и «RMJM»; некоторые иностранные фирмы имеют в столице свои офисы или активно сотрудничают с московскими проектными бюро и строительными концернами. Одновременно иностранные архитекторы приходят со своими предложениями и в другие города России [5].

Казань как объект проектирования

Безусловно, с архитектурной точки зрения Казань привлекательна своим историческим наследием и соединением двух культурных традиций. В этом смысле Казань – город неординарных культурных соседств, исторических срезов и интересных решений. В городе можно отчетливо видеть переплетение культурно-исторических слоев XVI-XIX веков, архитектуры советского периода и современных зданий. Эта многоплановость казанского архитектурного ландшафта ставит перед архитекторами сложные и одновременно интересные творческие задачи.

Однако желание оставить свой след в летописи архитектурной истории Казани не является единственным мотивом для прихода иностранных архитекторов на местный рынок. Поскольку архитектура сегодня – это открытый бизнес, приходящие на местный рынок архитекторы заинтересованы в получении прибыли и реализации в строительстве. Поэтому развитие строительного бизнеса и приток инвестиций к региону в значительной степени определяют привлекательность Казани для зарубежных и московских архитекторов.

Презентация Казани

Республика Татарстан имеет репутацию преуспевающего региона России с ценными природными ресурсами и сбалансированной политикой. С 2006 года Казань – столица республики – позиционирует себя как «третья столица России» (после Москвы и Санкт-Петербурга). Это право было официально зафиксировано в Роспатенте в 2009 году [6]. Кроме того, за городом закрепилась и слава «самого северного центра Ислама в мире».

Определенную репутацию и импульс к экономическому росту и развитию город приобрел в связи с реализацией здесь **мегапроектов**. Суть мегапроектов заключается в привлечении крупных инвестиций в строительство или реконструкцию в четко ограниченный период времени, а также в пропаганде знакового явления (осуществление приоритетной федеральной программы или международного события). На настоящий момент можно выделить следующие мегапроекты в Казани:

– «Республиканская программа ликвидации ветхого жилья» (1995-2005 гг.);
– «Празднование тысячелетия города Казани» (2000-2005 гг.);
– Жилой район «Седьмое небо» на территории Старого Аэропорта (2005-2007 гг.);
– Проект планировки территории правого берега г. Казанки (2005-2007 гг.);
– «Международные летние игры студентов «Универсиада-2013» (2008-2013 гг.).

Мегапроекты имеют как позитивное, так и определенное негативное влияние на городскую структуру и жизнь горожан. Однако, неоспорим тот факт, что они стимулируют городское развитие и привлекают сторонних архитекторов, так как для оперативной реализации мегапроекта необходим выход за рамки традиционного процесса проектирования и использование международного опыта реализации аналогичных крупных проектов. Когда в городе происходит «раскрутка» очередного мегапроекта, ответственные люди начинают искать тех, кто помог бы реализовать высокие амбиции.

Место встречи

С одной стороны, есть архитекторы, которые ищут новые регионы освоения. С другой стороны, город, нацеленный на реализацию мегапроекта. Вариантов точек пересечения взаимных интересов несколько. Заказчик может объявить международный конкурс и тем самым собрать определенный комплекс инновационных предложений. Архитектор может также проявить инициативу, послав свое портфолио и предложение о сотрудничестве. Третий вариант подразумевает наличие нейтрального пространства, где покупатель и продавец встретятся (образ ярмарки).

Встреча на нейтральной территории наиболее благоприятна ввиду того, что никого ни к чему не обязывает и дает запас времени для принятия соответствующих решений и детального знакомства с потенциальным партнером. Сегодня общепринятым местом встреч являются инвестиционные выставки и форумы. Ярким примером может служить инвестиционная выставка MIPIM (Канны,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Франция), собирающая около 30 тыс. участников из 83 стран мира. Казань ежегодно принимает участие и выставляет свои инвестиционные площадки на этой выставке. Так, например, первое знакомство представителей казанской и татарстанской администрации с архитекторами Эриком ван Эгераатом (Нидерланды) и профессором Хосе Асебильо Марин (Швейцария) произошло именно в рамках MIPIM. Формат проведения подобного рода публичных событий подразумевает лишь предварительное знакомство.

Непосредственная презентация

Когда совершен ритуал предварительного знакомства или официального представления, архитектор имеет возможность презентовать себя и свое портфолио потенциальному заказчику, продемонстрировать свой профессиональный опыт, понимание города и его проблем. Обычно вторая встреча происходит уже на месте потенциального проектирования в рамках дружественного визита. Примером активной заявки на участие в градостроительном развитии города может служить проведение проектного семинара «Архдесант» в 2006 году, в рамках которого архитектор Хосе Асебильо Марин познакомился с Казанью и обозначил наиболее актуальные проблемы и потенциалы. В рамках семинара сборными командами молодых казанских, московских и европейских архитекторов под модерацией архитектора были разработаны проектные предложения и подготовлена широкомасштабная презентация с участием администрации города, профессиональной общественности и СМИ. Другой пример презентации себя и своей деятельности в Казани является приезд архитектора Эрика ван Эгераата и его работа, связанная с проектированием Национальной библиотеки РТ.

При благоприятном развитии событий успешная презентация становится поводом для вступления в деловые переговоры и определения форм дальнейшего сотрудничества. На данном этапе решающими критериями являются экономическая целесообразность и одобрение властей города и его горожан.

Опосредованная презентация

Кроме непосредственного выступления перед общественностью и администрацией, архитектор представлен в СМИ и интернет. Телевидение и печать активно участвуют в пропаганде событий с участием иностранных архитекторов, так как это очередная возможность обратить внимание общественности на острые социальные вопросы города.

Когда приезд сторонних архитекторов в Казань начинает обсуждаться в СМИ и общественностью, проявляется дополнительный интерес к предыдущим проектам и личности архитектора. Как и индекс цитирования в научной деятельности, количество упоминаний в многотиражных источниках работает на опосредованную презентацию и общий имидж персоны. «Веб»-имидж архитектора может складываться спонтанно в процессе стихийных событий, а может быть и сознательно сформирован автором для поддержания позитивного впечатления о собственной фигуре.

Презентация местных архитекторов

Казань – город, имеющий собственную архитектурную школу, которая с 1930 года готовит специалистов в области архитектуры и строительства. Многие из выпускников Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КИСИ) впоследствии работают в области проектирования и строительства в родном городе. Преимущество местных архитекторов заключается в том, что они проектируют в городе, физический и культурно-исторический ландшафт которого им знаком и понятен. Кроме того, непосредственный опыт работы в регионе дает им представление о специфике прохождения различных этапов проектирования и строительства. Однако отсутствие опыта активного освоения рынка, как это подразумевается в региональных и интернациональных компаниях, приводит к тому, что в вопросе презентации и PR своей деятельности архитекторы Казани не проявляют высокой активности.

Сущность презентаций казанских архитекторов во многом определяется необходимостью представлять свой проект в органах согласования, на публичных слушаниях и градостроительных советах. В связи с этим презентации носят, скорее, обзорный и разъяснительный характер. Приезд же иностранных архитекторов – это событие на уровне города, которое всегда вызывает резонанс в профессиональной среде. Приезжающие архитекторы представляют не только иной взгляд на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

архитектуру города, но и презентуют себя очень смело и эмоционально, что задает определенную высокую планку и для местных кадров.

Перспектива развития

Презентация и проектирование на архитектурном рынке Казани иностранными архитекторами дает возможность местным специалистам учиться на примерах и развивать собственные презентационные навыки.

Одна из возможностей повысить свою персональную квалификацию – совместная работа с иностранными архитекторами в рамках международного сотрудничества. Адаптация и разработка проекта иностранным архитектором требует участия местных проектантов, что повышает их уровень и помогает освоить азы совместных международных проектов. Например, в ГУП «Татинвестгражданпроект» казанские архитекторы и инженеры работают совместно со швейцарскими, итальянскими, американскими, турецкими и английскими архитекторами над ключевыми объектами г. Казани и других регионов России. Работа ведется как на стадии концепции и эскизного проекта (preliminary design and schematic design), так и на рабочей стадии (construction documentation).

Другим направлением развития навыков проектирования и архитектурной презентации является обучение казанских архитекторов в вузах Европы и Америки, а также стажировка в интернациональных фирмах (Atkins, NBBJ, AuS). В настоящее время администрация города осуществляет активную политику сотрудничества с зарубежными фирмами и вузами в рамках системы грантов на обучение и стажировку. Данное сотрудничество полезно ввиду расширения профессионального обзора казанских архитекторов и знакомства с практикой интернациональной школы и практики, в которых презентации уделяется особое внимание.

Заключение

Изучение вопроса презентации иностранных архитекторов на казанском рынке важно как для понимания дальнейших стратегий международного сотрудничества города по развитию значимых проектов, так и для изучения общей технологии выхода на иностранный рынок. В связи с реализацией крупных градостроительных проектов в Казани современное поколение архитекторов стоит перед необходимостью разрабатывать объекты не только местного, но и регионального и международного значения, поэтому должно быть готовым к сотрудничеству и соревнованию с приезжими архитекторами на местном рынке. Кроме того, казанские архитекторы должны быть готовы и сами вести активное завоевание глобального архитектурного рынка. Работа на международном рынке подразумевает определенный уровень подготовки архитектора: активное владение современными медиа-инструментами (интернет, компьютерные средства), английским языком, участие в международных конкурсах и умение всесторонне презентовать свои работы [7]. Во многом это задача непосредственно самих специалистов, но важна роль и участие в этом процессе архитектурной школы Казани (КИСИ) и крупных архитектурных фирм Татарстана, которые постепенно оказываются все более вовлеченными в международную деятельность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ball D.A. International business: the challenge of global competition. – USA: McGraw-Hill Education, 2007.
2. Hill C.W. International Business Competing in the Global Marketplace. – McGraw-Hill Companies, New York, NY Inc., 2009.
3. Fletcher B. A History of Architecture. – London: Athlon press, 1975.
4. Уланова М. Иностранные архитекторы в Москве // Russian Realty. 2005. 15 ноябр. URL: http://www.russianrealty.ru/theme/100401.phtml.
5. Рябова О. Иностранные архитекторы // Деловой квартал. Екатеринбург, 2008, № 32.
6. Кряжев Р., Бегимбетова И. Казань стала «третьей столицей России» // «Коммерсант», 2009, № 59 (4114).
7. Pawlay N. Foster: A Global Architecture. – NY: Universe publishing, 1999.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 72.009
А.О. Акатьева – аспирант, старший преподаватель
E-mail: akatyeva@gmail.com
Е.С. Евсеев кандидат архитектуры, доцент
E-mail: evseev_kazan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АРХИТЕКТУРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ В РАМКАХ ОСВОЕНИЯ РЫНКА КАЗАНИ ИНОСТРАННЫМИ АРХИТЕКТОРАМИ

АННОТАЦИЯ

В данной статье описан феномен презентации иностранных архитекторов в Казани с позиции развития интернационального бизнеса и международного сотрудничества и определены их историко-культурные предпосылки и перспективы. Казань рассмотрена с позиции привлекательности осуществления в городе проектной и конкурсной деятельности, в том числе и иностранными архитекторами. Среди ключевых критериев, определяющих преимущество города, по сравнению с аналогичными городами России, выделена практика привлечения крупных инвестиций и реализации градостроительных мегапроектов в Казани. Архитектурная презентация в рамках данной статьи рассмотрена как средство развития бизнеса и выхода на новый рынок, а опыт презентации иностранных архитекторов в городе – как элемент стимуляции местных архитекторов к ведению активной маркетинговой деятельности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектурная презентация, иностранные архитекторы, Казань, мегапроект, интернациональный архитектурный бизнес, международное сотрудничество, «Универсиада-2013», «Тысячелетие Казани».

A.O. Akatyeva – post-graduate student, senior lecturer
E.S. Evseev – candidate of the architecture, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

ARCHITECTURAL PRESENTATION WITHIN FOREIGN ARCHITECTS' ARRIVAL AT THE KAZAN ARCHITECTURE MARKET

ABSTRACT

The article describes the phenomenon of the foreign architects' presentation in Kazan with international business development position. Kazan is considered as an attractive place for design and competitive activities of local and foreign architects. The practice of attracting large investments and implementation of urban mega-projects in Kazan is highlighted as one of the key criteria for determining the advantage of the city, compared with similar Russian cities. Architectural presentation is considered as an element of business development and entering new markets. Experience of the presentation of foreign architects in the city is defined as part of the stimulation of local architects to conduct intensive marketing activities.

KEYWORDS: Architectural Presentation, foreign architects, Kazan, mega-project, international architecture practice, international cooperation, Universiade-2013, Kazan Millennium Celebration.

«Нет пророка в родном отечестве»

Явление презентации иностранных архитекторов в Казани изучено довольно поверхностно. Факты приезда гостей-архитекторов фиксируются в новостях, на сайте администрации города и на ресурсах, связанных с деятельностью архитекторов. Фрагментарная информация в виде интервью и пресс-релизов попадает в отраслевые журналы. Авторы данной статьи анализируют феномен приезда сторонних специалистов в области архитектуры и строительства с двух позиций. Первая – это рассмотрение технологии освоения архитекторами нового рынка посредством активной «само-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

презентации». Вторая область изучения, находящаяся в непосредственной связи с первой, – это те экономические предпосылки, которые привлекают архитекторов именно в этот город, и, в частности, реализуемые в Казани мегапроекты («Ликвидация ветхого жилья», «Тысячелетие Казани», жилой район «Старый Аэропорт», «Город на воде», «Универсиада-2013»).

Данный обзор представляет описание технологии начального этапа освоения нового рынка на примере города Казани и выявляет некие социально-исторические причины «отставания» российских архитекторов в аспекте маркетинга своей деятельности. Вопрос был изучен авторами на основании анализа первичных и вторичных источников. К первичным источникам относятся непосредственные посещения презентаций (Эрик ван Эгераат, Atkins, NBBJ, HOK, Populous, Speech, Gibbons Architect) и эмпирические знания, полученные в рамках международного сотрудничества «Мастерской архитекторов Евсеева Е.С. и Новикова Н.М.» (1990-2008 гг.) и ГУП «Татинвестгражданпроект» (2007-2010 гг.) с архитекторами Хосе Асебильо Марин («AuS», Швейцария), Массимо Зардо («Zardo+Scarso architects», Италия) и Даймон Лавель («Populous», Англия). Кроме того, были обобщены данные интервью по вопросу презентации с представителями 15 американских архитектурных фирм, проведенных Акатьевой А.О. в 2009 году. К вторичным ресурсам относится изучение периодических публикаций в региональных и федеральных печатных и электронных источниках («ДиНА», «Стройэкспертиза», «Архи.ru» и проч.).

Актуальность данного исследования обусловлена общей тенденцией развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования и строительства как в Казани, так и в других передовых регионах Российской Федерации. Кроме того, подобный анализ полезен для понимания технологии освоения проектного рынка и разработки практических рекомендаций по «само-презентации» молодым архитекторам, планирующим осваивать местный, региональный и международный рынок.

Презентация как средство освоения рынка

На протяжении всей истории развития архитектуры существовал феномен «миграции» архитекторов. Архитекторы, завоевавшие известность в связи с успешным строительством в том или ином регионе, получали приглашение для реализации новых проектов на новых территориях. Средством рекламы являлись построенные объекты и молва, ходившая в обществе [1].

Современный архитектурный рынок отличается тем, что количество архитекторов значительно возросло, конкуренция усилилась, и архитектор должен сам идти навстречу заказчику, то есть проявлять активную инициативу в поиске новых заказов. К тому же современный архитектурный рынок становится все более глобальным. Появление современных коммуникационных инструментов (сотовая связь и интернет), а также развитие международных путей сообщения (авиаперелеты) решают проблемы больших расстояний при развитии деловых отношений и, в частности, архитектурного проектирования.

Реализация международного бизнеса имеет свою специфику, связанную с необходимостью активного изучения и продвижения своего бренда на глобальном рынке [2, 3]. В рамках развития международного сотрудничества в области архитектурного проектирования очень важным фактором становится презентация архитектора и его деятельности потенциальным заказчикам и партнерам как предпосылка для дальнейшего сотрудничества и развития бизнеса.

Россия на глобальном архитектурном рынке

Отечественные архитекторы начали входить в систему глобального архитектурного рынка совсем недавно, на десятилетия позже своих западных коллег. Советский период развития отечественной архитектурной практики не развивал такую форму реализации архитектурного проектирования, как частный бизнес. Это связано с существовавшей плановой экономикой и системой распределения государственного заказа. Архитекторы работали в крупных научно-исследовательских проектных институтах, в основном сосредоточенных в Москве («Моспроект», «ЦНИИП-Жилище», «ЦНИИП-градо» и т.д.), участвовали в архитектурных конкурсах-концепциях, либо выполняли работу по хоздоговорам при архитектурных вузах. Несмотря на то, что отечественные архитекторы в советское время приобрели определенную репутацию в мире посредством участия в «бумажных» конкурсах и разработки теоретических направлений, участие их в международном архитектурном бизнесе было незначительное.

Процесс активного продвижения иностранных архитекторов на российский рынок в постсоветский период начался со столицы. Традиция приглашения для работы в Москве

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

существовала еще с XV века, когда в столицу были приглашены для работы итальянские зодчие [4]. И сегодня Москва – это наиболее яркая инвестиционная ярмарка России, на архитектурном рынке которой выставляются проекты известнейших фирм мира «Foster+Partners», «Zaha Hadid Architects» и «RMJM»; некоторые иностранные фирмы имеют в столице свои офисы или активно сотрудничают с московскими проектными бюро и строительными концернами. Одновременно иностранные архитекторы приходят со своими предложениями и в другие города России [5].

Казань как объект проектирования

Безусловно, с архитектурной точки зрения Казань привлекательна своим историческим наследием и соединением двух культурных традиций. В этом смысле Казань – город неординарных культурных соседств, исторических срезов и интересных решений. В городе можно отчетливо видеть переплетение культурно-исторических слоев XVI-XIX веков, архитектуры советского периода и современных зданий. Эта многоплановость казанского архитектурного ландшафта ставит перед архитекторами сложные и одновременно интересные творческие задачи.

Однако желание оставить свой след в летописи архитектурной истории Казани не является единственным мотивом для прихода иностранных архитекторов на местный рынок. Поскольку архитектура сегодня – это открытый бизнес, приходящие на местный рынок архитекторы заинтересованы в получении прибыли и реализации в строительстве. Поэтому развитие строительного бизнеса и приток инвестиций к региону в значительной степени определяют привлекательность Казани для зарубежных и московских архитекторов.

Презентация Казани

Республика Татарстан имеет репутацию преуспевающего региона России с ценными природными ресурсами и сбалансированной политикой. С 2006 года Казань – столица республики – позиционирует себя как «третья столица России» (после Москвы и Санкт-Петербурга). Это право было официально зафиксировано в Роспатенте в 2009 году [6]. Кроме того, за городом закрепилась и слава «самого северного центра Ислама в мире».

Определенную репутацию и импульс к экономическому росту и развитию город приобрел в связи с реализацией здесь **мегапроектов**. Суть мегапроектов заключается в привлечении крупных инвестиций в строительство или реконструкцию в четко ограниченный период времени, а также в пропаганде знакового явления (осуществление приоритетной федеральной программы или международного события). На настоящий момент можно выделить следующие мегапроекты в Казани:

– «Республиканская программа ликвидации ветхого жилья» (1995-2005 гг.);
– «Празднование тысячелетия города Казани» (2000-2005 гг.);
– Жилой район «Седьмое небо» на территории Старого Аэропорта (2005-2007 гг.);
– Проект планировки территории правого берега г. Казанки (2005-2007 гг.);
– «Международные летние игры студентов «Универсиада-2013» (2008-2013 гг.).

Мегапроекты имеют как позитивное, так и определенное негативное влияние на городскую структуру и жизнь горожан. Однако, неоспорим тот факт, что они стимулируют городское развитие и привлекают сторонних архитекторов, так как для оперативной реализации мегапроекта необходим выход за рамки традиционного процесса проектирования и использование международного опыта реализации аналогичных крупных проектов. Когда в городе происходит «раскрутка» очередного мегапроекта, ответственные люди начинают искать тех, кто помог бы реализовать высокие амбиции.

Место встречи

С одной стороны, есть архитекторы, которые ищут новые регионы освоения. С другой стороны, город, нацеленный на реализацию мегапроекта. Вариантов точек пересечения взаимных интересов несколько. Заказчик может объявить международный конкурс и тем самым собрать определенный комплекс инновационных предложений. Архитектор может также проявить инициативу, послав свое портфолио и предложение о сотрудничестве. Третий вариант подразумевает наличие нейтрального пространства, где покупатель и продавец встретятся (образ ярмарки).

Встреча на нейтральной территории наиболее благоприятна ввиду того, что никого ни к чему не обязывает и дает запас времени для принятия соответствующих решений и детального знакомства с потенциальным партнером. Сегодня общепринятым местом встреч являются инвестиционные выставки и форумы. Ярким примером может служить инвестиционная выставка MIPIM (Канны,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Франция), собирающая около 30 тыс. участников из 83 стран мира. Казань ежегодно принимает участие и выставляет свои инвестиционные площадки на этой выставке. Так, например, первое знакомство представителей казанской и татарстанской администрации с архитекторами Эриком ван Эгераатом (Нидерланды) и профессором Хосе Асебильо Марин (Швейцария) произошло именно в рамках MIPIM. Формат проведения подобного рода публичных событий подразумевает лишь предварительное знакомство.

Непосредственная презентация

Когда совершен ритуал предварительного знакомства или официального представления, архитектор имеет возможность презентовать себя и свое портфолио потенциальному заказчику, продемонстрировать свой профессиональный опыт, понимание города и его проблем. Обычно вторая встреча происходит уже на месте потенциального проектирования в рамках дружественного визита. Примером активной заявки на участие в градостроительном развитии города может служить проведение проектного семинара «Архдесант» в 2006 году, в рамках которого архитектор Хосе Асебильо Марин познакомился с Казанью и обозначил наиболее актуальные проблемы и потенциалы. В рамках семинара сборными командами молодых казанских, московских и европейских архитекторов под модерацией архитектора были разработаны проектные предложения и подготовлена широкомасштабная презентация с участием администрации города, профессиональной общественности и СМИ. Другой пример презентации себя и своей деятельности в Казани является приезд архитектора Эрика ван Эгераата и его работа, связанная с проектированием Национальной библиотеки РТ.

При благоприятном развитии событий успешная презентация становится поводом для вступления в деловые переговоры и определения форм дальнейшего сотрудничества. На данном этапе решающими критериями являются экономическая целесообразность и одобрение властей города и его горожан.

Опосредованная презентация

Кроме непосредственного выступления перед общественностью и администрацией, архитектор представлен в СМИ и интернет. Телевидение и печать активно участвуют в пропаганде событий с участием иностранных архитекторов, так как это очередная возможность обратить внимание общественности на острые социальные вопросы города.

Когда приезд сторонних архитекторов в Казань начинает обсуждаться в СМИ и общественностью, проявляется дополнительный интерес к предыдущим проектам и личности архитектора. Как и индекс цитирования в научной деятельности, количество упоминаний в многотиражных источниках работает на опосредованную презентацию и общий имидж персоны. «Веб»-имидж архитектора может складываться спонтанно в процессе стихийных событий, а может быть и сознательно сформирован автором для поддержания позитивного впечатления о собственной фигуре.

Презентация местных архитекторов

Казань – город, имеющий собственную архитектурную школу, которая с 1930 года готовит специалистов в области архитектуры и строительства. Многие из выпускников Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КИСИ) впоследствии работают в области проектирования и строительства в родном городе. Преимущество местных архитекторов заключается в том, что они проектируют в городе, физический и культурно-исторический ландшафт которого им знаком и понятен. Кроме того, непосредственный опыт работы в регионе дает им представление о специфике прохождения различных этапов проектирования и строительства. Однако отсутствие опыта активного освоения рынка, как это подразумевается в региональных и интернациональных компаниях, приводит к тому, что в вопросе презентации и PR своей деятельности архитекторы Казани не проявляют высокой активности.

Сущность презентаций казанских архитекторов во многом определяется необходимостью представлять свой проект в органах согласования, на публичных слушаниях и градостроительных советах. В связи с этим презентации носят, скорее, обзорный и разъяснительный характер. Приезд же иностранных архитекторов – это событие на уровне города, которое всегда вызывает резонанс в профессиональной среде. Приезжающие архитекторы представляют не только иной взгляд на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

архитектуру города, но и презентуют себя очень смело и эмоционально, что задает определенную высокую планку и для местных кадров.

Перспектива развития

Презентация и проектирование на архитектурном рынке Казани иностранными архитекторами дает возможность местным специалистам учиться на примерах и развивать собственные презентационные навыки.

Одна из возможностей повысить свою персональную квалификацию – совместная работа с иностранными архитекторами в рамках международного сотрудничества. Адаптация и разработка проекта иностранным архитектором требует участия местных проектантов, что повышает их уровень и помогает освоить азы совместных международных проектов. Например, в ГУП «Татинвестгражданпроект» казанские архитекторы и инженеры работают совместно со швейцарскими, итальянскими, американскими, турецкими и английскими архитекторами над ключевыми объектами г. Казани и других регионов России. Работа ведется как на стадии концепции и эскизного проекта (preliminary design and schematic design), так и на рабочей стадии (construction documentation).

Другим направлением развития навыков проектирования и архитектурной презентации является обучение казанских архитекторов в вузах Европы и Америки, а также стажировка в интернациональных фирмах (Atkins, NBBJ, AuS). В настоящее время администрация города осуществляет активную политику сотрудничества с зарубежными фирмами и вузами в рамках системы грантов на обучение и стажировку. Данное сотрудничество полезно ввиду расширения профессионального обзора казанских архитекторов и знакомства с практикой интернациональной школы и практики, в которых презентации уделяется особое внимание.

Заключение

Изучение вопроса презентации иностранных архитекторов на казанском рынке важно как для понимания дальнейших стратегий международного сотрудничества города по развитию значимых проектов, так и для изучения общей технологии выхода на иностранный рынок. В связи с реализацией крупных градостроительных проектов в Казани современное поколение архитекторов стоит перед необходимостью разрабатывать объекты не только местного, но и регионального и международного значения, поэтому должно быть готовым к сотрудничеству и соревнованию с приезжими архитекторами на местном рынке. Кроме того, казанские архитекторы должны быть готовы и сами вести активное завоевание глобального архитектурного рынка. Работа на международном рынке подразумевает определенный уровень подготовки архитектора: активное владение современными медиа-инструментами (интернет, компьютерные средства), английским языком, участие в международных конкурсах и умение всесторонне презентовать свои работы [7]. Во многом это задача непосредственно самих специалистов, но важна роль и участие в этом процессе архитектурной школы Казани (КИСИ) и крупных архитектурных фирм Татарстана, которые постепенно оказываются все более вовлеченными в международную деятельность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ball D.A. International business: the challenge of global competition. – USA: McGraw-Hill Education, 2007.
2. Hill C.W. International Business Competing in the Global Marketplace. – McGraw-Hill Companies, New York, NY Inc., 2009.
3. Fletcher B. A History of Architecture. – London: Athlon press, 1975.
4. Уланова М. Иностранные архитекторы в Москве // Russian Realty. 2005. 15 ноябр. URL: http://www.russianrealty.ru/theme/100401.phtml.
5. Рябова О. Иностранные архитекторы // Деловой квартал. Екатеринбург, 2008, № 32.
6. Кряжев Р., Бегимбетова И. Казань стала «третьей столицей России» // «Коммерсант», 2009, № 59 (4114).
7. Pawlay N. Foster: A Global Architecture. – NY: Universe publishing, 1999.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.175
Тарек Эльсаед – доцент
E-mail: elsayedtarek@hotmail.ru
Хешам Хаггаг – старший преподаватель
Авад Ель Хашими – старший преподаватель
Ахмед Хассан – ассистент
Инженерный факультет Хельванского университета, Матария, Каир, Египет

ПОВЕДЕНИЕ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ КВАДРАТНОЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ

АННОТАЦИЯ

Коррозия стальной арматуры – один из наиболее серьезных недостатков армированного бетона. Для очистки железобетонных конструкций от коррозии необходимы огромные усилия и большие материальные затраты. Использование стеклопластиковой арматуры взамен стальной является разумным решением проблемы коррозии. Статья посвящена исследованию оптимального использования стеклопластиковой арматуры в укреплении плит. Проведен сравнительный анализ и по результатам испытаний даны рекомендации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: квадратная арматура, стеклопластиковая арматура, полипропиленовые волокна, плиты.

Tarek Elsayed – associate professor
Hesham Haggag – assistant professor
Awad El Hashimy – assistant professor
Ahmed Hassan – assistant lecturer
Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Cairo, Egypt

BEHAVIOR OF SLABS REINFORCED USING SQUARE GFRP REBARS

ABSTRACT

Corrosion of steel bars is a common problem encountered in steel reinforced concrete structures. The repair of steel corrosion costs a lot of money and time. The use of fiber-reinforced polymers (FRP) reinforcing bars instead of steel rebars is a reasonable solution of the corrosion problem. In this paper, a study was made to enhance the behavior of slab specimens reinforced using GFRP rebars. The parameters included in this study were, the geometry of bar cross-section, the characteristic strength of concrete, reinforcement percentage, and the percentage of polypropylene fibers in the concrete mixtures. Test specimens were nine, one-way, slabs. The study revealed that reinforcing one-way slabs in this research using GFRP rebars, square in croess-section, is effective in enhancing slabs` failure mode, cracking and ultimate loads, and deflections than using GFRP rebars circular in cross-section. Test results were analyzed and compared together and the corresponding conclusions and recommendations regarding the behavior and design of such slabs were drawn.

KEYWORDS: Square rebars, GFRP rebars, Polypropylene fibers, slabs.

INTRODUCTION

Over the last years, research has been conducted in order to find solutions for the corrosion problem of steel reinforced concrete. As a result, methods such as galvanization, the use of stainless steel bars, cathodic protection and epoxy coatings has been tried. None of these remedies has proved to be completely efficient. The excellent properties of fiber-reinforced polymers (FRP) suggested that these materials might be the solution for corrosion resistant materials reinforcing concrete. These properties include high resistance to corrosion, high strength-to-weight ratio and fatigue resistance [1]. Most FRP structural applications in engineering fall into two areas. The first involves replacing steel reinforcing bars with carbon fiber reinforced polymer (CFRP), glass fiber reinforced polymer (GFRP) or aramid fiber reinforced polymer (AFRP). The second application is to strengthen structurally deficient slabs with

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

FRP sheets or plates. The application of these materials in large scale has been delayed due to the high cost of FRP reinforcement in comparison to steel, due to the lack of design codes and due to the brittle behavior of FRP, resulting in poor structural ductility. To secure composite action, sufficient bond must be mobilized between reinforcement and concrete for fulfillment of full transfer of forces from one to the other. However, the shape of the cross section determines the bonded area and, hence, affects the bond behavior. A. Chillides, Pilakoutas and Waldron (1996) [2] reported that square bars develop higher bond strength than round bars under full confinement conditions.

RESEARCH SIGNIFICANCE

In this work, behavior of concrete slabs reinforced with GFRP rebars with different cross-section geometry was studied. The study considered the parameters those may enhance the behavior of tested slabs. The research included a comparison between GFRP reinforced slabs with similar slabs manufactured using steel reinforced concrete. The study is expected to contribute to the following outcomes

- Understanding the behavior of concrete slabs reinforced with GFRP rebars, with different geometry of cross-sections.
- Encouraging the use of GFRP, reinforcing rebars in reinforced concrete structures.
- Reducing repair cost of new reinforced concrete structures and redirect this money in other activities.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION

One-way reinforced concrete slabs reinforced with steel and GFRP rebars were investigated. The variables considered included the geometry of the cross-section of the reinforcing GFRP rebars, circular and square, the characteristic strength of concrete, 25, 35, and 45 N/mm^2 (3570, 5000, 6429 psi), polypropylene fiber content in concrete mixes, zero, 1.5, and 2.5 kg/m^3 (zero, 0.1, and 0.17 lb/cft). Nine slab specimens were included in this research.

Manufacturing GFRP bars

The GFRP reinforcing square bars used in this research were manufactured using mechanical pultrusion process. The pultrusion process is one of the most cost-effective methods for the production of composite materials. A continuous process produces constant cross section parts. Fig. 1 shows a schematic diagram of the process of pultrusion of GFRP bars. After manufacturing the bars, they were left for enough time to set, and then the corners of the square bars were machined to smooth curved shape in order to eliminate the concentrated stresses at the bars corners. Bars were then wrapped helically by fiber yarns in 1 cm pitch to roughen their surfaces.

a)

b)

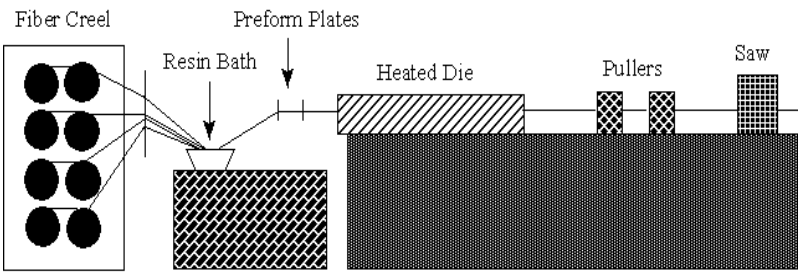


Fig. 1. Pultrusion process of GFRP-square rebars:
a – The pultrusion machine; b – schematic diagram of the pultrusion process

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Table 1

Tensile strength of the manufactured GFRP rebars

Specimen Number	Dimensions, mm (in.)	Ultimate Tensile Strength, N/mm^2 (psi)	Average Ultimate Strength, N/mm^2 (psi)
1	14x14 (0.55x0.55)	607.143 (86735)	602.228 (86033)
2	14x14 mm (0.55x0.55)	602.041(86005)	
3	14x14 mm (0.55x0.55)	597.5 (85357)	
4	Æ16 (0.63)	592.5 (84643)	582.5 (83214)
5	Æ 16 (0.63)	575 (82143)	
6	Æ 16 (0.63)	580 (82857)	

Table 2

Bond strength of the manufactured GFRP rebars

Group	Specimen	Bars			P.P kg/m^3 (lb/cft)	Fcu N/mm^2 (psi)	Failure Load kN (lb)	Bond Strength M/mm^2 (psi)	Average Bond Strength N/mm^2 (psi)
		Type	Dim. mm (in.)	Wrapping pitch					
I	P1	Steel	Æ 16 (0.63)	-	Zero	28.30 (4042.87)	68.2 (15038)	4.511 (645)	4.478 (640)
	P2	Steel	Æ 16 (0.63)	-	Zero	28.30 (4042.87)	67 (14774)	4.445 (635)	
II	P3	GFRP	Æ 16 (0.63)	Smooth	Zero	28.30 (4042.87)	29 (6395)	1.924 (275)	1.94 (277)
	P4	GFRP	Æ 16 (0.63)	Smooth	Zero	28.30 (4042.87)	29.5 (6505)	1.957	
	P5	GFRP	Æ 16 (0.63)	1 cm (0.4 in.)	1.5 (0.1)	27.50 (3928.58)	57.6 (12701)	3.82 (546)	3.81 (544)
	P6	GFRP	Æ 16 (0.63)	1 cm (0.4 in.)	1.5 (0.1)	26.30 (3757.16)	57.2 (12613)	3.8 (543)	
	P7	GFRP	Æ 16 (0.63)	1 cm (0.4 in.)	2.5 (0.17)	27.50 (3928.58)	62 (13671)	4.113 (588)	4.146 (592)
	P8	GFRP	Æ 16 (0.63)	1 cm (0.4 in.)	2.5	2630 (3757.16)	63 (13892)	4.18 (597)	
III	P9	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	Smooth	Zero	28.30 (4042.87)	33 (7277)	1.964 (281)	1.958 (280)
	P10	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	Smooth	Zero	28.30 (4042.87)	32.8 (7232)	1.952 (279)	
	P11	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	1 cm (0.4 in.)	1.5 (0.1)	29.00 (4142.87)	65 (14333)	3.87 (553)	3.884 (555)
	P12	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	1 cm (0.4 in.)	1.5 (0.1)	28.30 (4042.87)	65.5 (14444)	3.898 (557)	
	P13	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	1 cm (0.4 in.)	2.5 (0.17)	27.50 (3928.58)	71 (15656)	4.226 (604)	4.285 (612)
	P14	GFRP	14x14 (0.55x 0.55)	1 cm (0.4 in.)	2.5 (0.17)	27.50 (3928.58)	73 (16097)	4.345 (620)	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Materials

The fiber volume fraction used in manufacturing the GFRP bars was taken 56 %. This ratio is the optimum and it also matching the range recommended by ACI-440 [3]. The fibers used in manufacturing the GFRP bars are E-glass fibers with linear weight of roving 2400 g/km, and the used resin is polyester E.S 1319 mixed with cobalt in the ratio 1000:1, by weight. This ratio gives a setting time of about 2 hours at 160 єC (320 єF) which is enough for manufacturing process. The manufactured GFRP rebars used in this research were tested under tensile load to estimate their behavior under axial tension. The bond strength between the rebars and concrete was also tested. Table 1, and table 2 represents the results of tensile and pullout tests respectively.

Specimens

The experimental program includes testing nine reinforced concrete one-way slabs. All slabs had the same dimensions of 2100 mm (82.7 in.) long , 500 mm (19.7 in.) wide , and 150 mm (5.9 in.) depth as shown in Fig. 2. They were divided into five groups as presented in Table 3. The first group included one slab specimen reinforced with high tensile steel bars of yield and ultimate strengths of 360 and 520 N/mm^2 (51429, and 74286 psi) respectively, which was considered as control specimen. The other four groups were arranged in a way to include the considered parametres in this research.

Table 3

Details of the experimental program

Group	Slab No	No of bars in specimen	Bar shape	Bar Dimension mm (in.)	Material OF Bar	PP. content kg/m^3 (lb/cft)	Fcu N/mm^2 (psi)	Parameter studied
I	S1	3	Circular	Æ 16 (0.63)	Steel	Zero	25 (3572)	Control
II	S2	3	Circular	Æ 16 (0.63)	GFRP	1.5 (0.1)	25 (3572)	Shape of bar
	S3	3	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	1.5 (0.1)	25 (3572)	
III	S4	3	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	1.5 (0.1)	35 (5000)	Fcu
	S5	3	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	1.5 (0.1)	45 (6429)	
IV	S6	4	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	1.5 (0.1)	25 (3572)	Rfts. ratio
	S7	5	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	1.5 (0.1)	25 (3572)	
V	S8	3	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	Zero	25 (3572)	PP content
	S9	3	Square	14x14 (0.55x 0.55)	GFRP	2.5 (0.17)	25 (3572)	

Manufacturing specimens

Plywood forms were used in casting test slabs. Nine wooden forms were used, each specimen was cast in a separate form to ensure good quality specimens. A plastic sheet was glued to the forms to prevent the mixing water to be adsorped by the wooden form. A mechanical mixer was used to mix concrete with maximum capacity of 0.125 m^3 (4.42 cft). The use of mechanical vibrator ensured full compaction of concrete. Specimens were cured by water spraying twice a day for complete 28 days. After 28 days age, slabs were tested. Fig. 3 shows the used formwork, fig. 4 shows specimens after casting.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

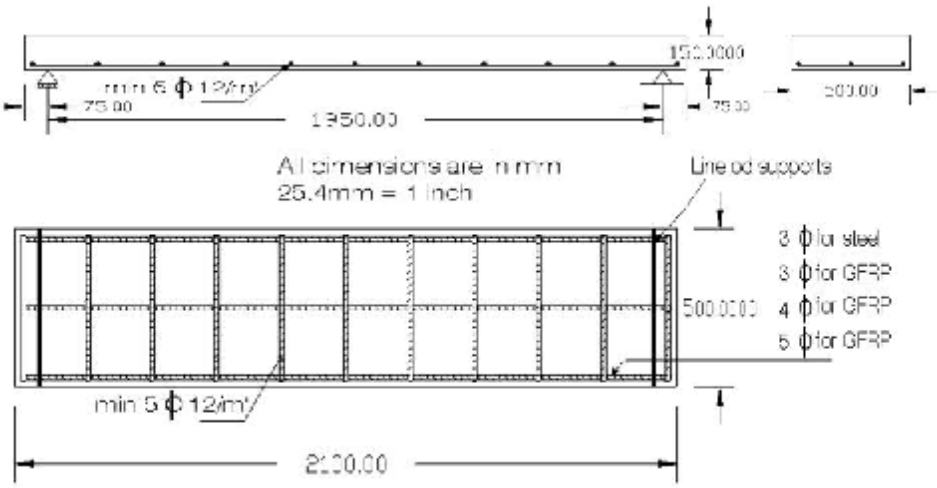


Fig. 2. Geometry and dimensions of tested slabs

Fig. 3. Used Formwork

Fig. 4. Cast specimens

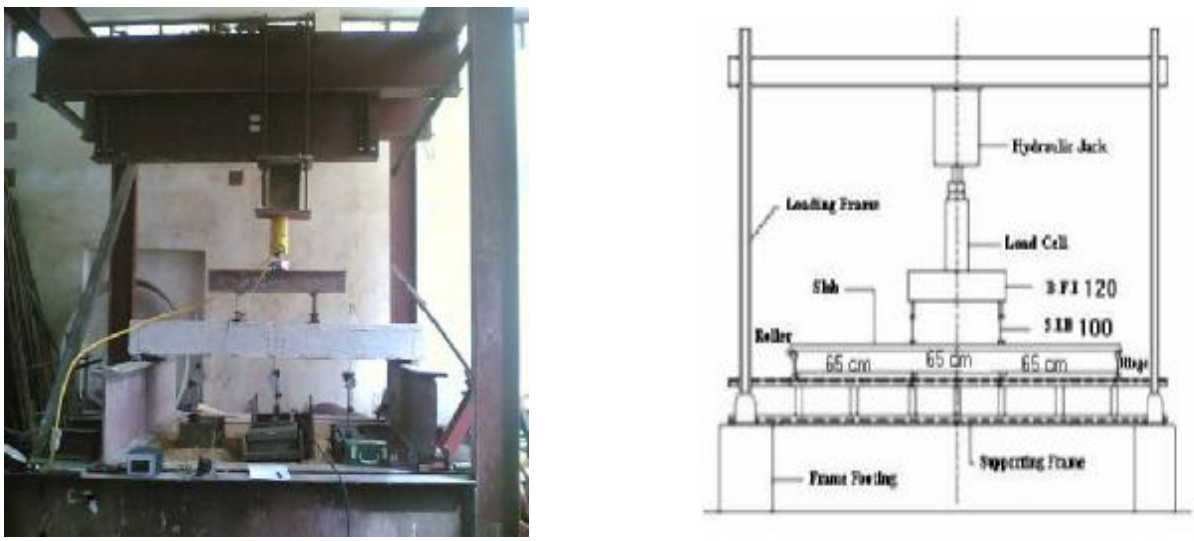


Fig. 5. Test setup

Test setup and instrumentations

Test specimens were placed in the loading frame in the Materials testing laboratory in the Faculty of Engineering Mataria, Helwan University, Egypt. The specimens were simply supported on two I-beams to form two line supports. The clear span between these supports was 1950 mm (76.8 in.) (fig. 2). For all test specimens, strains in longitudinal reinforcing bars were measured using electrical strain gauges, 5 mm length, electrical resistance of 119.8 ± 0.20 ohms, and gauge factor (2.11±1 %). A compression hydraulic jack of 500 kN (110230 lb) capacity was

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

used at the mid-span of the slab. A load cell of 300 kN (66138 lb) capacity was placed underneath the loading jack. Three I-beams were used to form two symmetric line loads on tested specimens. The loads were applied at distances of 650 and 1300 mm (25.6 and 51.2 in.) from the right support. Fig. 5 shows a general view of the test setup and loading system. Fig. 6 shows a schematic diagram of a test specimen under loading.

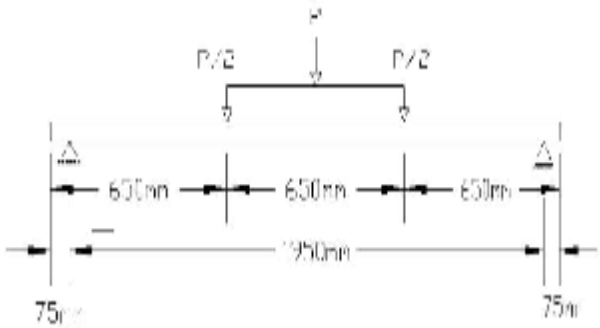


Fig. 6. Schematic diagram of test specimen

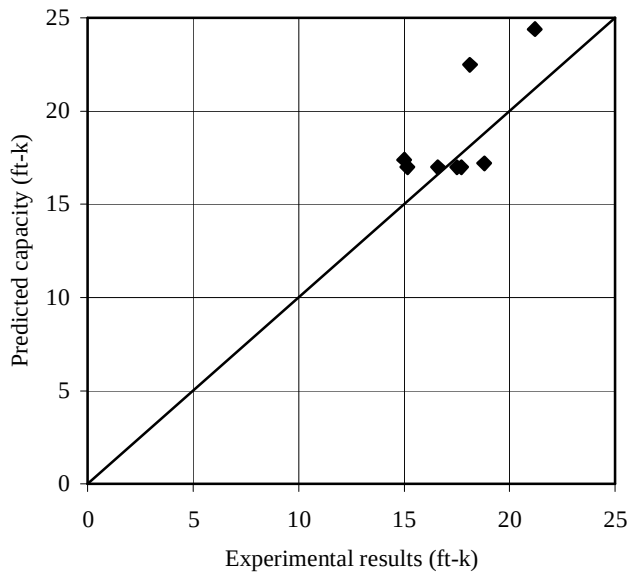


Fig. 7. Comparison of predicted under loading and experimental results (1 ft-k = 1.34 m-kn)

ANALYTICAL INVESTIGATION

The strength design philosophy for flexural strength of concrete sections reinforced with FRP bars presented in ACI-440 [3] was used for the estimation of the nominal flexural capacity of test specimens in this research. The design material properties stated in the ACI-440 [3] were followed in the analysis and the specimens were considered to be in the conditions not exposed to earth and weather, (i.e. $C_E = 0.8$). The equations used in the ACI-440 [3] are:

In case failure of the member is initiated by crushing of concrete:

$$M_n = A_f f_f (d - \frac{a}{2}) \quad (1)$$

In case failure of the member is initiated by rupture of FRP bars:

$$M_n = A_f f_{fu} (d - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad (2)$$

Where:

M_n = nominal flexural capacity

A_f = cross-sectional area of FRP rebars

f_f = tensile stresses in the FRP rebars

f_{fu} = tensile strength of FRP rebars

a = $\beta_1 c$ = depth of the compression block of the section

d = the distance from the center of the reinforcing steel bars in tension to the extreme compression fiber of the section

Comparison of predictions and experimental results

The ACI-440 [3] includes two conditions controlling the flexural design approach of concrete section reinforced with FRP bars. These conditions are:

- a section controlled by concrete crushing is defined as section in which $\rho_f \geq 1.4\rho_{fb}$ and
- a section controlled by FRP rupture is defined as one in which $\rho_f < \rho_{fb}$

When applying these conditions in the analysis using equations (1), and (2), the predicted nominal flexural

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

capacities of test specimens were in a reasonable agreement with the experimental results fig. 7. This reveals that the design approach of concrete sections reinforced by FRP bars, ACI-440 [3] is suitable for predicting the nominal flexural strength of concrete slabs reinforced by FRP bars, square in cross-section similar to those tested in this research.

EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

In this research, the parameters included are geometry of the reinforcing bars, the reinforcement ratio, the characteristic strength, and the content of polypropylene fibers in concrete. Nine solid slab specimens, fig. 2, table 3, were tested to study the effect of the mentioned parameters on failure mode, cracking and ultimate loads, load-deflection relationship, and the load-strain in reinforcements. This will be discussed in details in the following sections. Test results are summarized in table 4.

Table 4

Results of tested slabs

Slab	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Reinforcement	3 Æ 16 Steel	3 Æ 16 GFRP	3 Square GFRP Bars	3 Square GFRP Bars	3 Square GFRP Bars	4 Square GFRP Bars	5 Square GFRP Bars	3 Square GFRP Bars	3 Square GFRP Bars
Fcu, N/mm^2 (psi)	25 (3572)	25 (3572)	25 (3572)	35 (5000)	45 (6429)	25 (3572)	25 (3572)	25 (3572)	25 (3572)
PP content, kg/m^3 (lb/cft)	zero zero	1.5 0.1	1.5 0.1	1.5 0.1	1.5 0.1	1.5 0.1	1.5 0.1	zero zero	2.5 0.17
AS (%)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	1.045	1.31	0.79	0.79
Cracking Load, kN (lb)	52 (11464)	22 (4850)	27.8 (6129)	38.5 (8488)	41.5 (9149)	37.5 (8267)	48 (10582)	19.2 (4233)	32.2 (7099)
Ultimate Load kN (lb)	78.9 (17394)	63.8 (14065)	70.3 (15498)	74.4 (16402)	80 (17637)	77 (16975)	90 (19841)	64.4 (14198)	75.2 (16579)
Percentage of cracking to ultimate load (%)	66	34	40	52	52	48	54	29.8	43

Fig. 8. Failure mode of tested slabs:
a) Crack pattern for slab reinforced with steel rebars; b) Crack pattern for slab reinforced with 3-circular GFRP rebars;
c) Crack pattern for slab reinforced with 3-square GFRP rebars; d) Crack pattern of slab reinforced with 5-square GFRP rebars

Failure mode

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Failure of all tested slabs is flexural failure characterized by initiation of cracks at the tension side within the maximum moment zone as indicated in fig. 8. Slab reinforced with steel rebars showed the traditional ductile failure mode. Fig. 8 a, figs. 8 b, c. show that using GFRP rebars with square cross-section enhances the failure mode of tested slabs as the crack spacing for slab reinforced with square rebars is slightly lesser than crack spacing observed for slab reinforced with circular GFRP rebars. Thus, the failure mode of slabs reinforced with square rebars showed better ductility than slabs reinforced with circular rebars. This is almost due to the effect of the bigger surface area and due to the slight increase in the bond strength of the square rebars when compared to those of circular rebars (table 2). Observations during tests showed that increasing the reinforcement ratio reduces the crack spacing with the increase of load and thus enhances the failure mode of tested slabs (fig. 8 d). The same behavior was observed when increasing the concrete characteristic strength. Test observations also revealed that the addition of polypropylene fibers enhances slightly the failure mode of the tested slabs. As with the addition of fibers, the mechanism of the crack formation is slightly changed [4]. Some tensile load can be transferred across the crack by the bridging of fibers, thereby; the stress in the concrete comes from not only the bond stress but the bridging of fibers as well. With the contribution from the fibers, less bond stress is needed to reach the same cracking stress. Consequently, the spacing of crack is smaller in slabs with fibers than in slabs without Fibers [4]. The reduction in crack spacing was remarkably observed for specimens manufactured with polypropylene fibers content of 2.5 kg/m^3 while the reduction in crack spacing was not remarkable for fibers content of 1.5 kg/m^3.

Cracking and ultimate loads

With reference to table 4, it is clear that slab reinforced with steel bars gave the higher cracking and ultimate loads for same reinforcement ratio and characteristic strength. It should be mentioned that steel reinforced slabs were cast without polypropylene fibers. It is clear from table 4 that GFRP rebars with square cross-section gave higher cracking and ultimate loads than those given by test specimen reinforced by circular GFRP rebars by about 25 and 10 % respectively. This may be related to the effect of the higher surface area and the higher bond strength of square rebars compared to those of circular rebars. It should be noted that the effect of the smooth finished corners of the square bars helps in improving their bond srength with concrete. It is also clear from Table 4 that the higher the characteristic strength the higher are the cracking and ultimate loads. The effect of the percentage of GFRP sqaure reinforcement on the behavior of slabs in this research was considered by testing slab specimens with reinforcement ratio 0.79, 1.045, and 1.31 %. It was estimated that for each increase of 0.255 % in the reinforcement ratio increases the cracking and the ultimate loads of tested slabs by about 35 and 14 % repectively. The effect of polypropylene fibers content on the cracking and ultimate loads of tested slabs was considered in this paper. It is shown in table 4 that adding polypropylene fibers in concrete mixes plays a significant role in enhancing the cracking loads and slightly increases the ultimate load of tested slabs. The used polypropylene fibers content is zero (for plain specimens), 1.5 and 2.5 kg/m^3 (zero, 0.1, and 0.17 lb/cft); these contents are equivalent to zero, 0.17 %, and 0.28 % of concrete volume. The increase in polypropylene fibers was noticed to be very effective in increasing the cracking load, thanks to the effect of the polypropylene fibers in changing the mechanism of crack formation as the bridging of fibers in cracks contributes in mobilizing less bond stress to reach the same cracking stress [4]. The average increase in the cracking and ultimate loads was estimated to be about 31 % and 13 % respectively.

Load – mid-span deflection

Deflections of test specimens were recorded at three points; at mid-span and the two middle points in the distance between the center and the support from each side. The load – mid-span deflection relationship was drawn for each slab at figs. 9, 10, 11, and 12. As presented in fig. 9, it is shown that slabs reinforced with square GFRP rebars showed higher flexural stiffness than slab reinforced with circular GFRP rebars. This is almost related to the effect of the higher surface area and the higher bond strength of square rebars than those for circular rebars. In addition, the smooth curved-finished corners of the square rebars improved the bond strength between the bars and concrete and consequently helped in postponing the crack initiation to higher load stages that resulted in improving specimen's flexural stiffness. The enhancement of the load-deflection relationship of slabs due to increasing concrete characteristic strength is not remarkable, fig. 10, fig. 11 shows that the higher the reinforcement area, the lower are the mid-span deflections of tested slabs. This is logic, as the increase in reinforcement area reduces the average stresses in reinforcing bars and consequently reduces the resulting strains, and this leads to higher flexural stiffness of tested slabs, and therefore, the mid-span deflection is reduced. As mentioned before, adding polypropylene fibers in concrete mixes plays a significant role in enhancing the cracking and the ultimate loads of tested slabs, thanks to the bridging effect of the polypropylene fibers in cracks of concrete that contributes in mobilizing less bond stress to reach the same cracking stress. This leads to reducing the tensile strains in the GFRP rebars and thus the mid-span

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

deflection are reduced, fig. 12, and consequently, the failure mode is enhanced.

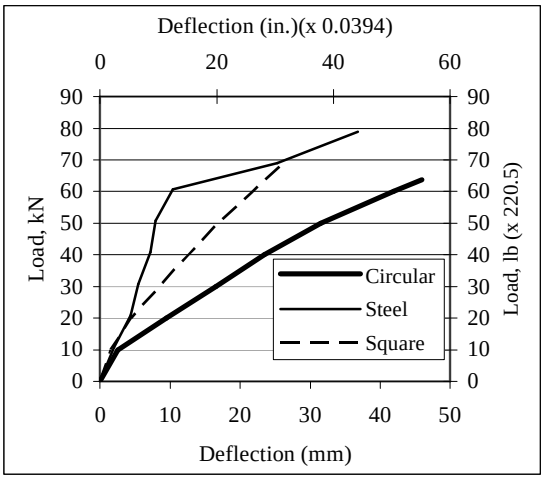


Fig. 9. Effect of bar cross-section geometry on mid-span deflection

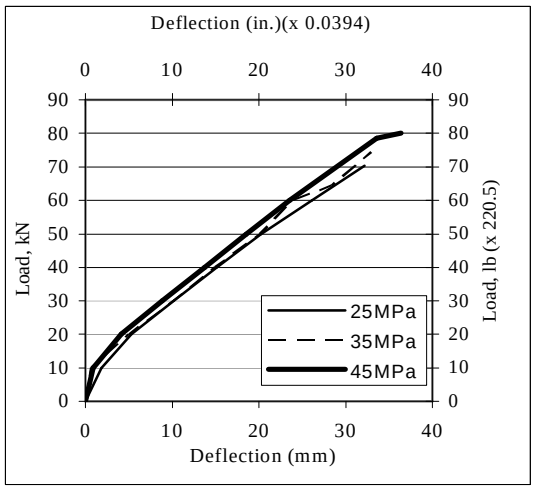


Fig. 10. Effect of characteristics strength on mid-span deflection

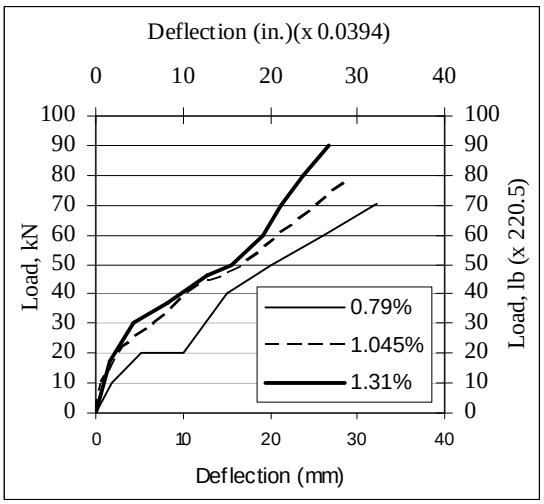


Fig. 11. Effect of percentage of reinforcement on mid-span deflection

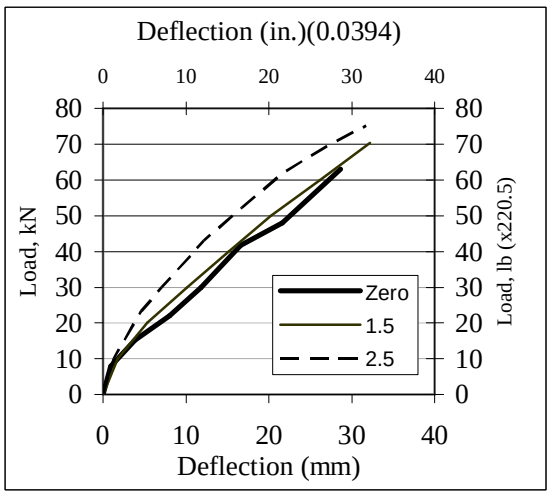


Fig. 12. Effect of polypropylene fibers content on mid-span deflection

Load-strain relationship in reinforcements

The effect of geometry of reinforcing bars, reinforcement ratio, characteristic strength, and the content of polypropylene fibers in concrete, on the load-strains relationships of tested slabs are shown in figs. 13 to 16. Fig. 13 illustrates the effect of bar cross-section geomtry on the load-strain relationships of the used rebars. The steel reinforcements showed a typical ductile behavior of steel reinforced slabs, as the load-strain relationship starts linear up to yielding and then the load-strain rate decreased due to strain hardening. The other types of reinforcing rebars are GFRP with circular and square cross-section, S2, and S3 to S9. Generally speaking, the load-strain relationships of the GFRP rebars showed higher strains compared to those of steel rebars and thus the secant modulus of the steel rebars was estimated to be about five times greater than those for GFRP rebars. On the other hand, fig. 13 showed that square GFRP rebars showed lower strains compared to those for circular GFRP rebars. The secant modulus of square GFRP rebars was estimated to be about 1.5 times greater than that for circular GFRP rebars. And thus the difference in behavior between slabs reinforced with GFRP square and circular rebars can be explained. As explained before in this research, the mid-span deflections of slabs with square rebars were lower than those for slabs rienforced with circular rebars, Thanks to the higher secant modulus and the higher bond strength of the sqaure rebars when compared to those of circular rebars. Also the higher secant modulus of the sqaure rebars resulted in lower tensile strains than those produced in the circular rebars and thus the rate of propagation of cracks and also the rate of debonding between the rebars and concrete are lower than those for slabs rienforced with circular rebars. Consquently, using square rebars in rienforcing concrete slabs in this research resulted in higher ultimate loads and

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

better failure mode than using circular rebars.

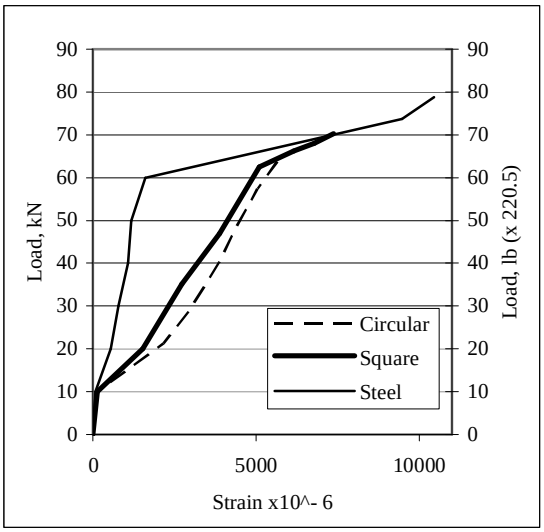


Fig. 13. Effect of bar cross-section geometry on load-strain relationship of rebars

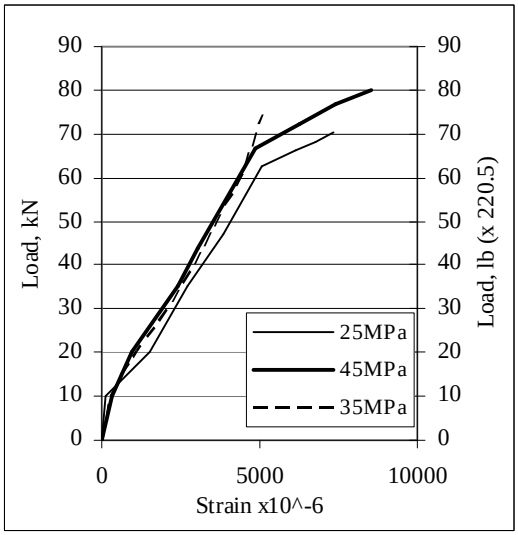


Fig. 14. Effect of characteristic strength on load-strain relationship of rebars

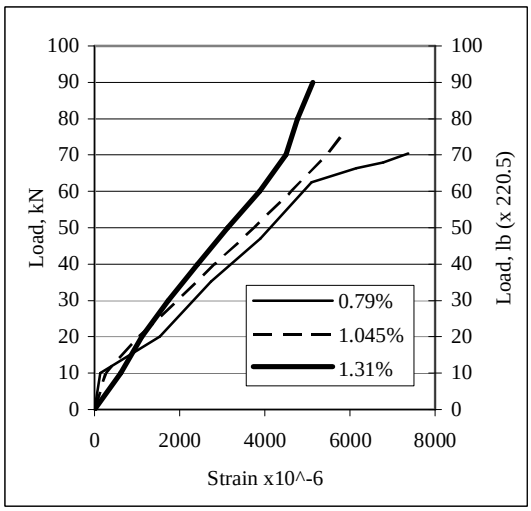


Fig. 15. Effect of percentage of reinforcement on load-strain relationship of rebars

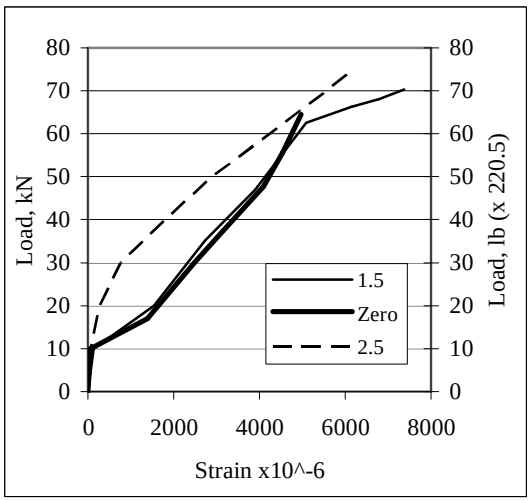


Fig. 16. Effect of polypropylene content on load-strain relationship of rebars

The load-strain relationships in fig. 14 indicates that the effect of the characteristic strength of concrete, in the range considered in this research, on the load-strain relationship is not remarkably clear, but a conclusion is still valid, the higher the charcteristic strength the lower are the strains in the reinforcing bars.

In this research, three reinforcement percentages were used for slabs reinforced with GFRP rebars, 0.79, 1.045 and 1.31 %. These reinforcement percentages were done by using 3, 4, and 5 square rebars in tested slabs. The load-strain relationships in fig. 15 represents the effect of varying reinforcement percentage of GFRP rebars on the load-strain behavior of tested specimens. It is shown in fig. 15 that the higher the reinforcement percentage the lower are the strains in GFRP rebars. This is logic as increasing the GFRP reinforcement percentage by increasing the number of rebars increases their overall cross-sectional area and thus decreasing the average tensile stress in the rebars and concequently the tensile strain decreases.

Fig. 16 shows the effect of varying the content of polypropylene fibers in concrete used in casting test specimens. It is shown in fig. 16 that adding polypropylene fibers to concrete with content up to 1.5 kg/m^3 (0.1 lb/cft), has almost nigligible effect on the load-strain behavior of the GFRP rebars. This low dosage of fibers makes the concentration of the fibers in concrete to be very low, and as described before in this research, the effect of the fibers on the behavior of test specimen is concentrated on the bridging effect of fibers in cracks. This low fiber concentration makes most of cracks to be free of fibers an thus the strains in the fiber rebars remains almost

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

unchanged. It is also shown in fig. 16 that, adding 2.5 kg/m^3 (0.17 lb/cft) polypropylene fibers have a remarkable effect on the load-strain of the GFRP rebars, as the strains in the rebars were remarkably reduced. This is almost attributed to the effect of the polypropylene fibers in enhancing the bond strength between concrete and the GFRP rebars as well as the contribution of fibers bridging and thus providing extra confinenment for the reinforcing bars and therefore, the tensile strains in the rebars are reduced.

FUTURE RESEARCH

It is recommended to study the controling of cracks width of concrete slabs reinforced with square GFRP rebars to increase their durability, also testing slab specimens under aggressive environment is needed.

CONCLUSIONS

In this research the behavior of one-way slabs reinforced with square GFRP rebars was studied. The pultrusion process using materials available in the loacal market manufactured the used GFRP rebars. Some parameters were considered in the study for the purpose of enhancing the behavior of slabs in this research. Test results revealed that using GFRP rebars, sqaure in cross-section, in manufacturing reinforced concrete one-way slabs in this research is effective in improving their behavior, as using square GFRP rebars instead of circular rebars enhances their failure mode, reduces the deflections, and increases their cracking and ultimate loads. The study also revealed that, adding polypropylene fibers to concrete used in casting slabs in this research, is an effective technique in improving the failure mode, mid-span deflection, ductility, and increasing the load carrying capacity of slabs reinforced with square GFRP rebars, tested in this research. Simple calculations in this research showed that the flexural strength design of concrete sections reinforced with FRP bars presented in the ACI-440 is suitable for predicting the nominal flexural strength of concrete slabs reinforced by FRP bars, square in cross-section similar to those tested in this research.

REFERENCES

1. Ferreira A.J.M., Camanho P.P., Marques A.T. and Fernandes A.A. Modelling of concrete beams reinforced with FRP re-bars. Faculty of Engineering, University of Porto, Rua dos Bragas, 4099 porto codex, Portugal, 2001.
2. Chillides Z., Pilakoutas K. and Waldron P. Anchorage Systems – Bond Improvement. Euro Crete Report № CCC/96, Centre for Cement and Concrete, The University of Sheffield, Oct. 1996.
3. American Concrete Institute (ACI). Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. Report by ACI Committee, 440, November 1, 2000.
4. Wang H. and Belarbi A. Flexural Behavior of Fiber-Reinforced-Concrete Beams Reinforced with FRP Rebars. ACI Materials Journal, SP230-51, Oct. 1, 2005.
5. The Egyptian Code of Practice for Designing and Executing Concrete Structures, ECP 2003-2007.
6. Hosny A.H.H., El-Nawawy O.A., Mostafa El., Khalil A.H.H. Behavior of Concrete Slabs Reinforced with Fiber-Glass Bars. The 1st Middle East Workshop on Structural Composites, Sharm El-Sheikh, Egypt, June 14-16, 1996. – PP. 267.
7. Haggag A.H., Hanna N.F., Gad R.M. Behavior of One-Way Concrete Slabs Reinforced by GFRP Rebars and Polypropylene Fibers. Engineering Research Journal, Helwan University, Faculty of Engineering, Mataria, Egypt, Vol. 85, February 2003. – PP. 59-67.
8. Ombers L., Alkhrdaji T., Nanni A. Flexural Analysis of one-way Concrete Slabs Reinforced with GFRP-Rebar's. International Meeting on Composite Materials, Plast 2000. Proceedings Advancing with Composites 2000, Milan, Italy, May 2000. – PP. 243-250.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.012.35/45
Ф.С. Замалиев – кандидат технических наук, доцент
Р.А. Сагитов – инженер
Ш.Н. Хайрутдинов – инженер
E-mail: shamil153@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИСПЫТАНИЕ ФРАГМЕНТА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ НА СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

АННОТАЦИЯ

Целью испытания являлось определение напряженно-деформированного состояния фрагмента сталежелезобетонного перекрытия при статических нагрузках. Приведены графики развития прогибов, деформаций сдвига на границе сталь-бетон и деформаций нижнего пояса стальных балок перекрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталежелезобетонные конструкции, статическая нагрузка, испытание.

F.S. Zamaliev – candidate of technical science, associate professor
R.A. Sagitov – engineer
Sh.N. Khayrutdinov – engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering

STATIC LOAD TEST OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE CEILING FRAGMENT

ABSTRACT

The purpose of this test is estimation of the stress-strain mode of composite steel and concrete ceiling fragment under static load. The diagrams of deflection increase, shear strain of steel-concrete connection, and tensile strain of the bottom flange of steel beams are given.

KEYWORDS: composite steel and concrete structures, static load, test.

При реконструкции жилых и общественных зданий возникает потребность замены существующих перекрытий по деревянным балкам, не нарушая при этом статической связности зданий. Замену деревянных перекрытий в отечественной практике часто производят с помощью металлических балок и железобетонного настила. Однако, при проектировании таких конструкций часто исходят из предпосылки, что стальная балка и железобетонная плита работают отдельно и не связаны друг с другом. Но в зарубежной практике и в ряде случаев, имевших место в России и в том числе в Республике Татарстан, в качестве перекрытия применяли сталежелезобетонные конструкции, запроектированные с учётом совместной работы стальной балки с железобетонной плитой.

Однако в целом сталежелезобетонные конструкции в отечественной практике не нашли должного распространения. Это, вероятно, связано с отсутствием нормативной базы и малой изученностью сталежелезобетонных перекрытий. Целью этой работы явилось проведение испытания фрагмента сталежелезобетонного перекрытия и получение экспериментальных данных напряженно-деформированного состояния для последующего их использования в разработке новых методик расчёта.

1. Экспериментальная установка.

В качестве фрагмента для испытаний изготовлено сталежелезобетонное перекрытие размерами 6000х6000 мм. Стальная часть перекрытия состоит из шести прокатных двутавровых балок № 20 по ГОСТ 8239-89 длиной 6000 мм, расположенных с шагом 1200 мм; бетонная часть: длина – 6000 мм, ширина – 6000 мм, высота – 80 мм. Армирование бетонной части производилось арматурными сетками из проволоки Ш5 Вр-I с шагом 100 мм по классической схеме для неразрезной балки. Совместность работы стальной и бетонной частей сталежелезобетонной конструкции достигалась за

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

счет двух рядов вертикальных анкерных стержней (2 Ш10 60 мм А-III), приваренных по всей длине к верхнему поясу стальных балок с шагом 150 мм в середине пролета, и 100 мм – по концам.

Применялся бетон класса В22,5 (М 300). Для определения его расчётных характеристик были изготовлены контрольные образцы – кубы 100х100х100 мм. При заливке монолитного бетона его уплотнение производилось глубинным вибратором.

Рис. 1. Вид опытной СЖБ плиты под нагрузкой

2. Измерительная аппаратура и методика замеров.

Для измерения деформаций стали и бетона на их поверхности наклеивались тензорезисторы с базой 50 мм (для бетона) и 20 мм (для стали). Продольные прогибы конструкции замерялись по центрам стальных балок с помощью линеек, укреплённых жестко на металлических треногах. Сдвиг по контакту сталь-бетон замерялся индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, укреплявшимися к концам стальных балок. Момент образования трещин и характер трещинообразования определяли визуально, а величина раскрытия трещин определялась с помощью микроскопа МБП-2 с 24-хкратным увеличением. Опытная разрушающая нагрузка фиксировалась путём предварительного определения веса всех грузов.

3. Результаты испытания.

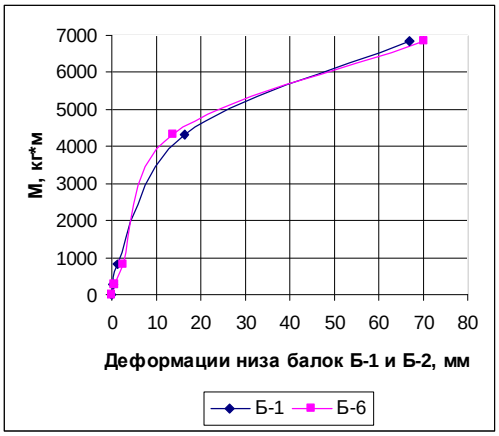
Испытание проводилось постепенным нагружением однократной кратковременной статической нагрузкой сталежелезобетонной плиты перекрытия ступенями по 1/20 от ожидаемой разрушающей нагрузки. После каждого этапа нагружения снимались показания всех датчиков, индикаторов и прогибы.

При испытании изучался характер трещинообразования верхней и нижней граней железобетонной полки сталежелезобетонной плиты, а также закономерности развития деформаций бетона и стали несущих балок и монолитной плиты опытной сталежелезобетонной плиты.

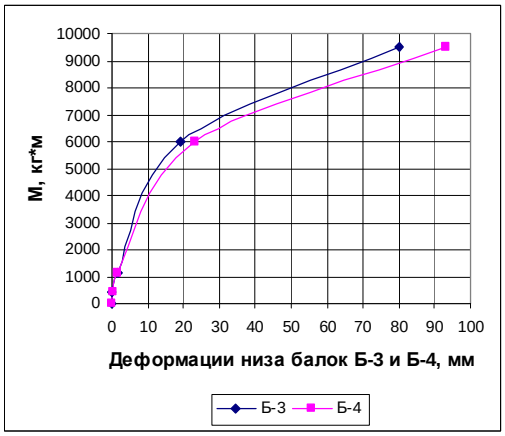
Испытуемую плиту нагружали распределённой нагрузкой до 91 т. При нагрузке в 91 т прогиб конструкции составлял в разных зонах от 7,5 до 12 см, что составляет 1/50 длины конструкции (стальных балок). Таким образом, прогибы достигли недопустимых значений. При нагрузках от 0 до 91 напряжения продолжали наращиваться, происходило постепенное раскрытие продольных трещин в бетоне непосредственно над стальными балками, образовывалась сетка трещин в нижней части бетонной плиты, прогибы конструкции достигали 12 см, что означало наступление обеих групп предельных состояний.

При испытании опытной сталежелезобетонной плиты также изучались закономерности развития прогибов несущих балок фрагмента. Во всех шести несущих балках происходило увеличение прогибов при возрастании уровня нагружения, причем интенсивность их развития была различной на разных этапах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



а)



б)

Рис. 2. Деформации крайних фибр нижнего пояса стальной части, измеренные в зоне чистого изгиба на участке 60 см, для крайних (а) и средних (б) балок плиты

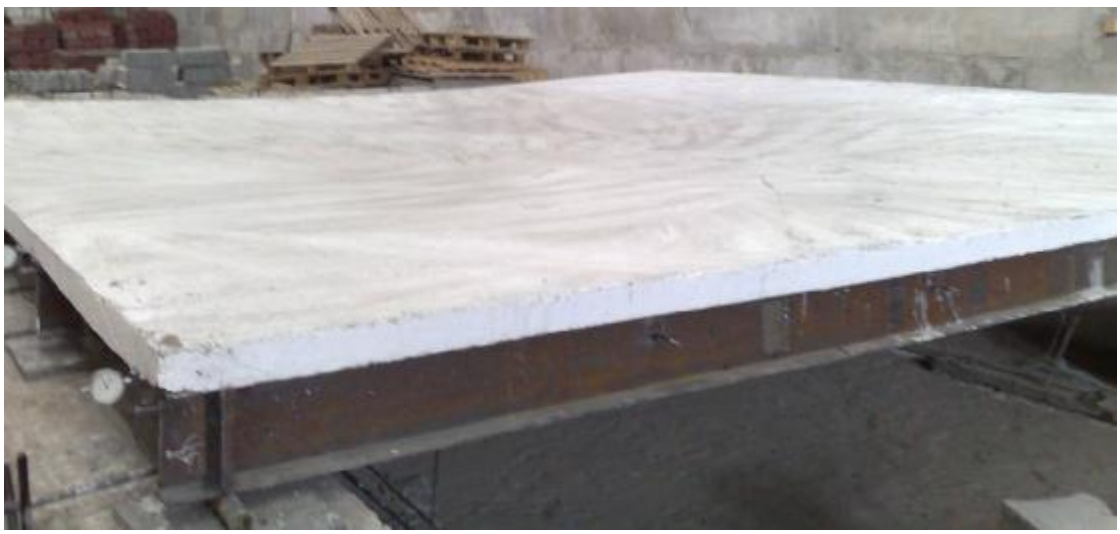


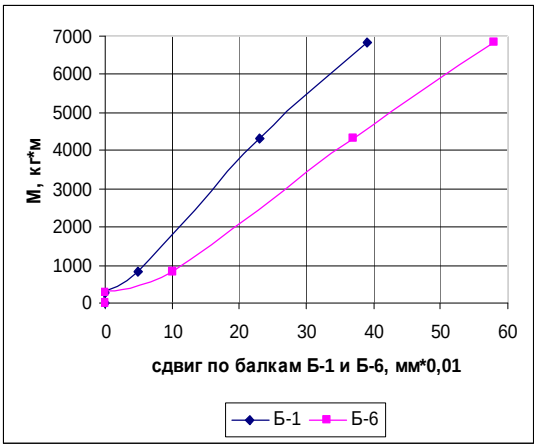
Рис. 3. Общий вид опытной сталежелезобетонной плиты после испытания

На начальных этапах загружения наблюдается практически прямая пропорциональность между изгибающим моментом и прогибами, а затем с изменением эпюры деформаций по высоте сталежелезобетонного сечения, вследствие появления неупругих деформаций стали, происходит интенсивный рост прогибов при незначительном увеличении нагружения, т.е. излом графика прогибов. Наличие изломов на графиках прогибов свидетельствует о снижении жесткости несущих балок сталежелезобетонного фрагмента при увеличении уровня нагружения.

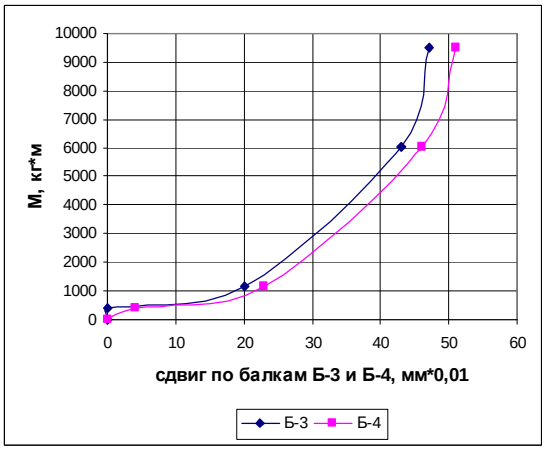
Снижение жесткости несущих сталежелезобетонных балок происходит по растянутой зоне, вследствие снижения модуля упругости стали после того, как сталь сталежелезобетонного сечения входит в зону неупругих деформаций. Это объясняется сдерживающим влиянием неразрезной железобетонной плиты фрагмента сталежелезобетонного перекрытия, работающей в двух направлениях, и постепенным её включением в работу с увеличением уровня нагружения.

Наибольшее значение прогибов, а также наибольшие значения деформаций сжатия и растяжения в одинаковых сечениях по длине пролета достигались в средних (третьей и четвёртой) стальных балках опытной сталежелезобетонной плиты. Напряжения (деформации) нижних фибр стальной части сталежелезобетонного сечения развиваются более интенсивно, чем напряжения (деформации) по верхней грани бетонной полки, что свидетельствует о перераспределении усилий между сталью несущих балок и бетоном плиты и постепенном смещении нейтральной оси в сторону стальной части фрагмента сталежелезобетонного перекрытия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

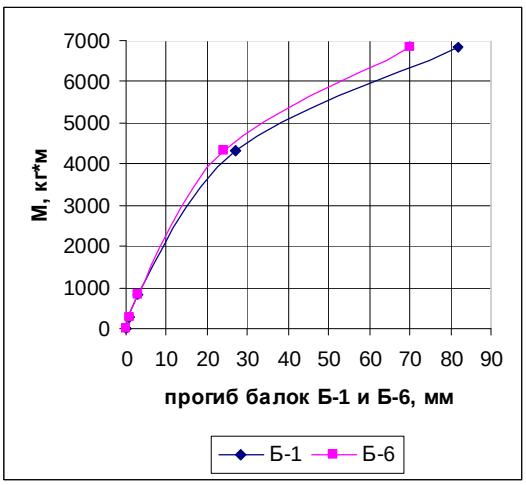


а)

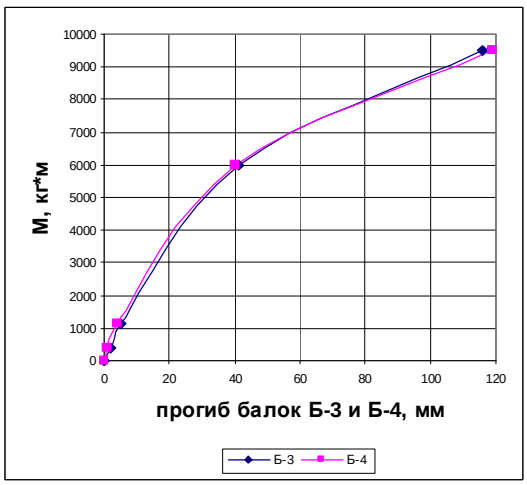


б)

Рис. 4. Графики развития максимальных деформаций абсолютного сдвига Δsh на границе контакта «сталь-бетон» для крайних (а) и средних (б) балок фрагмента перекрытия на различных этапах нагружения



а)



б)

Рис. 5. Графики развития прогибов в координатах «M-f» для крайних (а) и средних (б) балок фрагмента перекрытия на различных этапах нагружения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. – М.: Стройиздат, 1996. – 210 с.
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Замалиев Ф.С. Сталежелезобетонные конструкции. Новые методы расчета. – Казань, 1997. – 51 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.046.5
Ф.Х. Ахметзянов – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 510-47-05
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ДИАГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ (s-e) БЕТОНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИЕВ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИЯХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(ЧАСТЬ 1)

АННОТАЦИЯ

В качестве показателя снижения сопротивляемости бетона при нагружении по диаграмме σ-ε предложен параметр повреждаемости *П* в виде отношения величины неупругих деформаций бетона к полным. Установлены зависимости параметра повреждаемости от уровня напряжений и прочности бетона с удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными (отклонение не более +9,5 %). Приведены формулы для определения эффективного напряжения, модуля деформаций, текущих относительных деформаций повреждаемого бетона при кратковременном и продолжительном нагружениях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неупругие и полные деформации бетона, параметр повреждаемости.

F.Kh. Akhmetzyanov – candidate of technical science, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

PRESSURE AND DEFORMATION CONCRETE DIAGRAMMES (s-e) AND THEIR USE FOR DEFINITION OF PARAMETRES AND CRITERIA OF DAMAGEABILITY AT SHORT-TERM AND LONG LOADING OF CONCRETE AND FERRO-CONCRETE ELEMENTS

(PART 1)

ABSTRACT

As an indicator of decrease of resistibility of concrete at loading on the diagramme σ-ε the parameter of concrete damage *П* in the form of the relation of size of non-elastic deformations of concrete to full is offered. Dependences of parameter of damageability on the level of stress and durability of concrete with satisfactory convergence with experimental data (a deviation no more than +9,5 %) are established. Formulas for definition of effective pressure, the module of deformations, current relative deformations of damaged concrete are brought at short-term and long loadings.

KEYWORDS: non-elastic and full deformations of concrete, damages, parameter, criteria of damage.

1. Диаграмма σ-ε в подавляющем большинстве экспериментов и наблюдений является результатом измерений относительных деформаций на поверхности элементов (электротензорезисторами, тензометрами, с помощью оптических покрытий). Деформации ε являются результатом воздействий напряжений ε. Остальные факторы, например, температуру, считаем постоянными.

Возникновение повреждений в объемах (начинающихся с микродефектов) в наиболее напряженных или слабых местах материала можно фиксировать разными способами: изменением скорости ультразвука, модуля упругости, измерением акустической и световой эмиссии, диэлектрических свойств, свето- и газопроницаемости [1]. Этими методами получают усредненные данные о поврежденности. Большую информацию о конкретной микроструктуре дефектов указывают инфракрасная спектроскопия и рассеяние рентгеновских лучей.

Определение напряженно-деформированного состояния строительных элементов из бетона и железобетона от нагрузок и воздействий относится к области механики твердого деформируемого тела [2]. В этой области возникла как самостоятельная ветвь механики деформируемого твердого тела механика разрушения [3, 4].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При этом на наших глазах расширяются границы этой новой научной дисциплины, так как при решении проблем разрушения бетона объединяются не только усилия бетоноведов, но и физиков, физико-химиков [5, 6, 7].

Бетон и железобетон до определенного уровня нагружения могут сопротивляться нагрузкам и воздействиям при имеющихся трещинах с ограниченным раскрытием. Поэтому его относят к «квазихрупким» материалам [8, 9].

Размеры трещин, возникающих при малых значениях нагрузок и воздействий, сравнимы с характерными размерами микроструктуры [5, 10]. С увеличением нагрузок и воздействий возрастает количество трещин на удельной площадке и объеме элемента, происходит слияние благоприятно расположенных относительно напряжений и общей траектории величины накопленной в связях деформации.

Поэтому диаграмма напряжения-деформации σ-ε бетона (цементного камня), являясь показателем эволюции в поперечное сечение относительных псевдодеформаций (раскрытия трещин), позволяет прослеживать этапы процесса постепенного исчерпания сопротивляемости (наступления глобального разрушения) вследствие изменения физико-механических характеристик материала.

2. Представления о разрушении бетона, необходимые для предложения критериев повреждаемости на основе диаграммы σ-ε, сводятся к следующим положениям:

а) разрушение бетона (цементного камня) не есть мгновенный акт, а процесс во времени;

б) распространению магистральной трещины, появляющейся и вызывающей снижение пиковой (максимальной) сопротивляемости, предшествуют предварительные этапы: появление и накопление микротрещин; их эволюция в макротрещины;

в) размер микротрещины обуславливается характерным размером основных структурных кристаллитов, зерен цементного камня.

3. На поверхности (в поверхностном слое) строительных элементов в среднем концентрация дефектов максимальна (превышает концентрацию в более глубоко от поверхности расположенных слоях).

Это объясняется максимальным воздействием наружной среды (температуры, солнечной радиации, атмосферных осадков) и тем, что в атомах и молекулах поверхности имеются не компенсированные взаимодействием с другими атомами и молекулами электростатические (кулоновские) силы в противоположность расположенным глубже от поверхности.

Кроме этого, могут иметься усадочные трещины в поверхностном слое элемента. Вследствие того, что концентрация напряжений в зоне трещин в десятки и сотни раз превышает концентрацию напряжений вокруг пор (максимальная концентрация вокруг круглых пор трехкратна) относительно напряжений на бездефектных участках [3], то при рассмотрении диаграммы σ-ε влиянием пористости можно пренебречь.

Пренебрегаем и влиянием шехороватости поверхности элементов на диаграмму σ-ε.

4. Рассмотрим вид и участки диаграммы σ-ε бетона в зоне чистого изгиба, растягиваемого механической нагрузкой образцов [10] (рис. 2, 5).

В этой работе, благодаря использованию голографической интерферометрии, точность фиксации раскрытия трещин увеличена на порядок в сравнении с измерением тензометрами. Ширина раскрытия первой силовой трещины в момент ее выявления на интерферограмме в среднем равнялась 2..5 мкм, а тензорезисторами указанная трещина выявлялась при ширине раскрытия примерно 20..25 мкм, при уровне напряжений соответственно 0,7 R_{bth} и при (0,9..0,95)R_{bth}.

На диаграмме $s_{bt} - e_{bt}$ начальный угол (между осью абсцисс и диаграммой) является наименьшим в интервале нагрузки от 0 до 0,7 R_{bth}. Начальный участок при уровне нагружения ~ 0,1 R_{bth} (точнее, 0,093). Переходит на больший угол с 75° до 85° (с 0,56 R_{bth} до 0,7 R_{bth} на 91°), т.е. модуль упругости увеличивается. Этот участок соответствует деформационному упрочнению бетона. Отметим, что деформационное упрочнение на диаграмме сжатия σ-ε описано в горных породах [12]. Упрочнение проявляется в увеличении модуля упругости и коэффициента Пуассона. На упрочнение бетона при растяжении было обращено внимание [8] и для объяснения механизма упрочнения использовалась концепция Э. Орована, Э. Шмида накоплением дефектов кристаллической решетки в процессе микропластической деформации. Эта концепция используется и при математическом моделировании пластической деформации [13].

Пластическая деформация и трещинообразование в материалах является результатом необратимых смещений атомов (ионов). В кристаллах эти смещения в большинстве случаев

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

происходят путем движения дислокаций, потому что другие механизмы деформации – диффузионный перенос и зернограничное скольжение – в бетоне затруднены при обычных температурах. Движение дислокаций может вызывать микропластическую деформацию путем либо скольжения, либо двойникования. Деформирование двойникованием идет в случаях, когда скольжение по тем или иным причинам затруднено (при низких температурах, высоких скоростях деформации, большой микронеоднородности структуры). В поликристаллах (типичный бетон) из-за разной ориентации и размеров зерен деформация в них начинается не одновременно и развивается неоднородно [14 , 15].

В поликристаллах цементного камня обнаружены дислокации, количество которых в блоках мозаики кристаллов доходило до $10^{11}…10^{12}$ см$^{-2}$ [16].

Размер микротрещин при известном числе дислокаций в скоплении и векторе Бюргера равен 0,01…0,48 мкм [17]. По интерферограммам ориентировочно длина трещин была при 0,28 M_{crc} 50 мм при раскрытии ≈10…30 мкм. Отношение длины к максимальному раскрытию трещин $\frac{l}{a_{crc}} = \frac{50}{0{,}1...0{,}3} = 500$, то $a_{crc} = \frac{(0.01...0{,}48)}{500..167} = 0{,}00002…0{,}001$ и 0,00006…0,0029 мкм, что примерно равно размеру ячейки кристалла и более.

По диаграмме рис. 1 раскрытие трещин составляло: при 0,7 R_{bth} – 2..5 мкм (0,002…0,005 мм) при (0,9…0,95) R_{bth} – 20…25 мкм, при 1 R_{bth} – 100 мкм.

5. Рассмотрение особенностей, характеризующих магистральную трещину в зоне чистого изгиба бетонного образца, приводит к таким выводам:

а) перед появлением магистральной трещины величина неупругой относительной деформации на диаграмме σ-ε равна упругой $n = e^{e}/e_b$ =0,5 (при 0,9..0,95) R_{bth};

б) приращением нагрузки в период распространения магистральной трещины можно пренебречь, т.к. оно составляет примерно (0,1…0,05) R_{bth} (т.е. его можно считать случайным);

в) при распространении магистральной трещины до пикового (максимального) нагружения отношение приращения напряжения к приращению относительной деформации остается постоянным (т.е. зависимость между напряжениями и относительными деформациями линейна). Это объясняется большой скоростью магистральной трещины (равной ~ скорости звука). Поэтому прочими деформациями образца (элемента) при распределении магистральной трещины, кроме ее деформации от раскрытия, можно пренебречь. В опытах эта псевдодеформация превосходила суммарную величину упругих и неупругих деформаций в полтора раза, составив $4·10^{-4}$;

г) появление магистральной трещины превосходило после раскрытия макротрещины до 20…25 мкм (0,02…0,025 мм).

6. В отличие от магистральной трещины, предшествующее ей развитие макротрещины происходило в интервале уровня погружения от 0,7 до (0,9…0,95) R_{bth}. При нелинейной зависимости между напряжениями и относительными неупругими деформациями величина неупругих деформаций (до появления магистральной трещины) составляла от $1{,}3·10^{-5}$ до $3·10^{-4}$.

Характеристики упругих и неупругих относительных деформаций по диаграмме σ-ε на рис. 1 представлены в таблице.

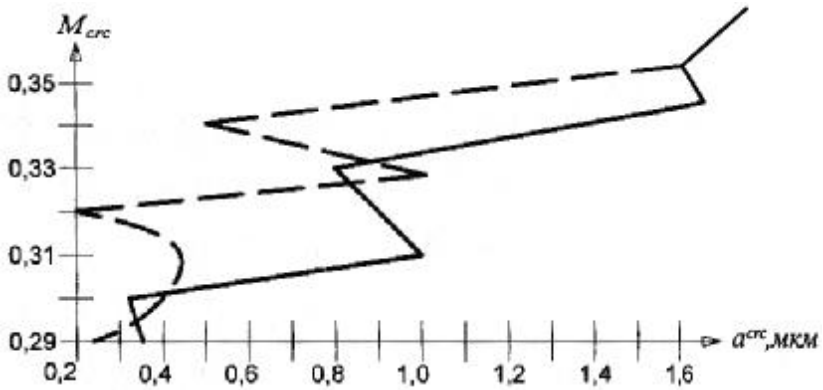


Рис. 1. Изменение раскрытия трещин в зоне чистого изгиба железобетонных образцов 50х70х570 мм от действующего момента в долях от M_{crc} (в интервале (0,35-0,45) M_{crc} увеличилось до 25 мкм). Тензорезисторы выявили трещины только при раскрытии 25 мкм

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица

Изменение величин деформаций, коэффициента упругости n, параметра повреждаемости П=1-n с изменением относительных напряжений при a_{crc}=0 (т.е. s_0/R_{bth} =0,7) до a_{crc}=20…25 мкм (т.е. s_n/R_{bth} =0,9)

Приращения напряжений	Соответствующая приращениям величина относительных деформаций			Коэффициент упругости $n = e^e / e^b = e^e + e^{\neq e}$		Параметр повреждаемости П=1-ν	Примечания
	Упругих e^e	Неупругих $e^{\neq e}$	Сумма упругих и неупругих $e^{\neq e} + e^e$		$\frac{n_{теор.по\ р(5)}}{n_{опыт}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
0,2	0,95	0,07	1,02	0,93	1,05	0,07	Раскрытие макротрещин 0,002 мкм
0,4	1,0	0,15	1,15	0,87	1,06	0,13	
0,6	1,05	0,35	1,4	0,75	1,093	0,25	
0,8	1,11	0,65	1,76	0,63	1,095	0,37	
1,0	1,15	1,15	2,3	0,5	1,04	0,5	Раскрытие макротрещины 0,02 мм

Эти относительные напряжения при $a_{crc}^{макро}$=0 и $a_{crc}^{микро}$=20…25 мкм, т.е. в интервале развития неупругих деформаций от 0 до появления магистральной трещины, примем, соответственно, равными относительному 0 и 1.

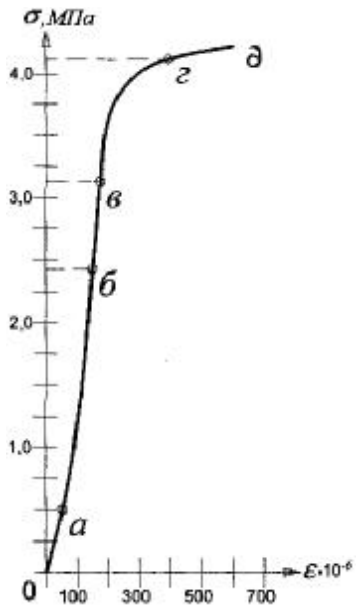


Рис. 2. Диаграмма деформирования растянутой грани изгибаемого бетонного образца.
Уровни нагрузки, при которых выявлены первые трещины: 1 – методом электротензометрии; 2 – голографической интерферометрии; 0-а; а-б; б-в; в-г; г-д – соответственно интервалы: влияние начальных повреждений структуры; упрочнения материала; разупрочнения; развития макротрещин; появление и развитие магистральной трещины

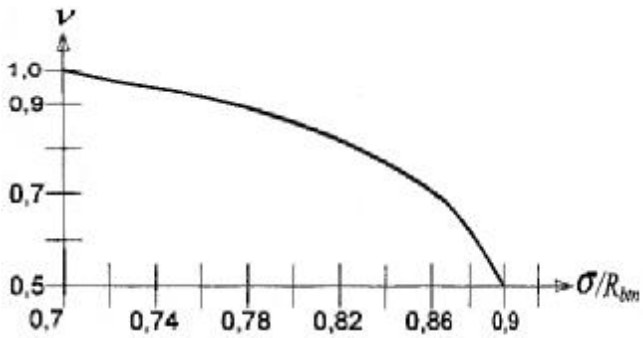


Рис. 3. Изменение коэффициента упругости ν от уровня относительных напряжений бетонного образца при появлении неупругих деформаций (бетон В 97 МПа), R_{bth}=4,4 МПа

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

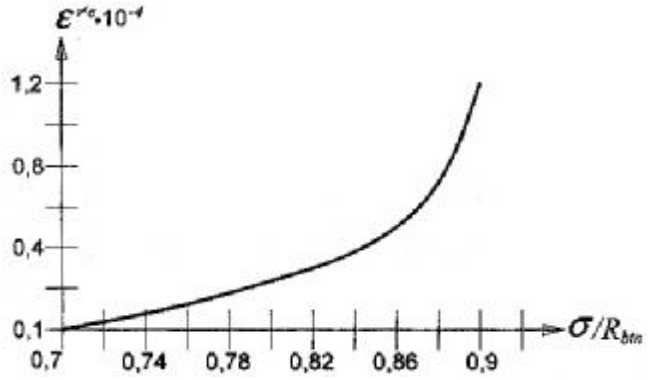


Рис. 4. Изменение неупругих относительных деформаций при возрастании напряжений в бетонном образце при изгибе (R_{bth}=4,4 МПа)

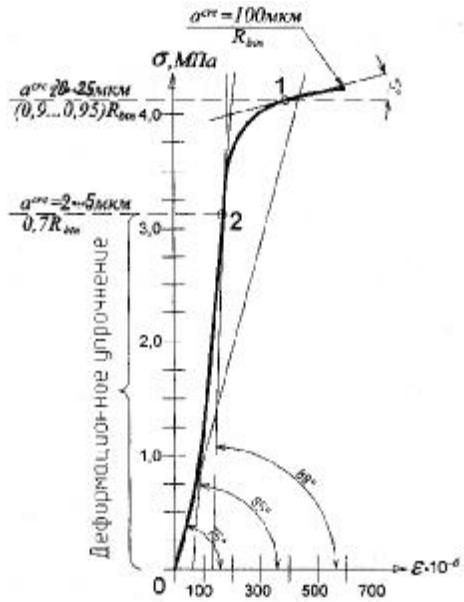


Рис. 5. Диаграмма деформирования растянутой грани изгибаемого бетонного образца.
Уровни нагрузки, при которых выявлены первые трещины: 1 – методом электротензометрии; 2 – голографической интерферометрии

Как видно из табл. и рис. 2, 3, 4, 5, накопление неупругих деформаций – причина появления макротрещины (нарушения сплошности структуры – повреждаемости). Поэтому в предложенном параметре повреждаемости относительный уровень неупругих деформаций – один из учитываемых основных факторов процесса. Так как полные деформации бетона включают упругие и неупругие деформации, а первые нетрудно подсчитать по приводимым в действующих нормах величинам начальных модулей упругости для соответствующего класса бетона (по прочности на сжатие), то предложено параметр повреждаемости П выражать через коэффициент упругости и класс бетона по прочности на сжатие (поскольку модули упругости бетона для растяжения и сжатия одинаковы). На основе анализа значений коэффициента упругости для бетона класса В15 и В60 [18], данных опытов [10] из условия (1)

$$e^{b} = e^{e} + e^{\neq e}$$

$$\frac{e^{e}}{e^{b}} + \frac{e^{\neq e}}{e^{b}} = 1 \qquad (1)$$

следует

$$\Pi = 1 - \frac{e^{e}}{e^{b}} = 1 - n \ . \qquad (2)$$

Предлагается также определять по выражениям

$$\Pi = \left(A \Big/ \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_{b} \Big/ R_{b} \right)^{2} \text{ или } \left(s_{bt} \Big/ R_{bt} \right)^{2} \qquad (3)$$

$$n = 1 - \Pi = 1 - \left(A \Big/ \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_{b} \Big/ R_{b} \right)^{2} \qquad (4)$$

$$\text{или } n = 1 - \Pi = 1 - \left(A \Big/ \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_{bt} \Big/ R_{bt} \right)^{2} \qquad (5)$$

Постоянная А принимает 1,5;
В – класс бетона по прочности сжатия.
Выражения (4), (5) развивают формулу [19] для приложения к бетону

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$s_{П} = s_0 / (1 - П)^a$$

Формулы (4) и (5) предлагаются для описания параметра повреждаемости П и коэффициента упругости в диапазоне В15… В100. Для высоких прочностей В>60 их сходимость ниже (погрешность до 9,3 %), см. колонку 6 в табл., чем для В15..В60.

Текущие модули деформаций бетона (при кратковременном, однократном, возрастающем напряжении – на активной ветви деформирования (до пиковой нагрузки)) предлагается определять по выражениям:

$$E_{П} = E_0 \left[1 - \left(1{,}5 / \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_b / R_b \right)^2 \right] \tag{6}$$

или

$$E_{П} = E_0 \left[1 - \left(1{,}5 / \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_{bt} / R_{bt} \right)^2 \right]. \tag{7}$$

Текущие относительные деформации тяжелого бетона e_i при напряжении y_i определяются по формуле

$$e_i = s_i \Big/ E_0 \left[1 - \left(1{,}5 / \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_b / R_b \right)^2 \right] \tag{8}$$

$$e_i = s_i \Big/ E_0 \left[1 - \left(1{,}5 / \sqrt[4]{B} \right) \cdot \left(s_{bt} / R_{bt} \right)^2 \right]. \tag{9}$$

При продолжительном нагружении бетона в строительных элементах статической механической нагрузкой деформации с учетом ползучести и повреждаемости для проектных эксплуатационных напряжений σ(t,τ) и приращения напряжений в момент τ, определяется по выражению [19]:

$$e(t) = \frac{s(t)}{E(t)} + s(t) \cdot C(t,t) + \int_{t_1} \frac{ds}{dt_1} \left[\frac{1}{E(t)} + C_{П}(t,t) \right] dt_1 \tag{10}$$

$$C_{П}(t,t) = C(t,t) + e^{crc}(t,t) \tag{11}$$

где τ,t – моменты нагружения и оценки деформаций соответственно;

τ_1 – момент приращения напряжений;

$C(t,t)$ – мера ползучести бетона;

$C_{П}(t,t)$ – мера ползучести и псевдодеформаций от повреждений бетона.

$$e^{crc}(t,t) = \sum_1^n a_i^{\max} / l \tag{12}$$

для этапа до появления магистральных трещин

$$e^{crc}(t,t) = \sum_1^k a_{ik}^{\max} / m_i \tag{13}$$

для этапа при появлении магистральных трещин,

где $a_i^{\max}$ и $a_{ik}^{\max}$ – максимальное раскрытие рассеянных и магистральных трещин соответственно;

l, m_i – длина элемента, осредненное расстояние от магистральной трещины до других трещин.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Заключение

В статье к основным результатам относятся: установление на диаграмме деформирования бетона влияния процессов упрочнения и разупрочнения структуры бетона, отношения длины визуально наблюдаемых макротрещин к их максимальному раскрытию на поверхности образца, что равенство упругих и неупругих относительных деформаций бетона при изгибе соответствует раскрытию макротрещины до 20…25 мкм (перед появлением магистральной трещины). Предложен и введен деформационный параметр повреждаемости для определения модуля деформаций повреждаемого бетона, $E_П$, эффективного напряжения $s_П$ в бетоне для поперечного сечения элемента с трещиной. Эти результаты, представляется, имеют научную новизну.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томуж В.П., Куксенко В.С. Макромеханика разрушения полимерных материалов. – Рига: Зинатне, 1978.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991.
4. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Механика разрушения железобетона. – М.: НИИЖБ, 1998.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1978.
6. Ахвердов Ю.М. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989.
8. Ахметзянов Ф.Х. К особенностям деформирования, повреждаемости, изменения физико-механических характеристик бетона в конструкциях // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 150-155.
9. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1989.
10. Цилосани З.Н., Далакишвили Г.Л., Нижарадзе М.Д. Исследование трещинообразования в бетоне и железобетоне методом голографической интерферометрии // Бетон и железобетон, 1990, № 8. – С. 8-11.
11. Ахметзянов Ф.Х. К оценке концентрации усадочных микротрещин в цементном камне // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1986, № 11. – С. 5-56.
12. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. – М.: Недра, 1982.
13. Попов Л.Е., Пудан Л.Я., Колупаева С.Л., Кобытев В.С., Старенченко В.А. Математическое моделирование пластической деформации. – Томск, ТГУ, 1990. – 325 с.
14. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. – М.: Высшая школа, 1983.
15. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1983.
16. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Прошин А.П., Соломатов В.Н., Соколова Ю.А. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных бетонов. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2001.
17. Узун И.Л. Коэффициенты упругопластичности бетона сжатой зоны на всех стадиях работы // Бетон и железобетон, 1993. – С. 26-27.
18. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966.
19. Ахметзянов Ф.Х. Классификация повреждений бетона, предпосылки оценки его остаточной несущей способности в строительных элементах бетона при отсутствии и наличии армирования с простым механическим нагружением // Известия КазГАСУ, 2009, № 2. – С. 99-102.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.046.5
Ф.Х. Ахметзянов – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 510-47-05
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ (ЧАСТЬ 2)

АННОТАЦИЯ
В статье приведены в виде исходных положений (предпосылок) особенности поверхностных свойств бетона без армирования и с армированием при возникновении и развитии повреждений в виде трещин. По данным экспериментально-теоретических исследований обобщены сведения о микро- и макроповреждаемости цементного камня (бетона). Предложены оценки зоны повышенных деформаций вокруг трещин, параметров трещин, геометрического параметра повреждаемости.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поверхность бетона, повреждаемость.

F.Kh. Akhmetzyanov – candidate of technical science, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

INFLUENCE OF SURFACE THE CONCRETES AND REINFORCED CONCRETES ELEMENTS ON THE DAMAGE (PART 2)

ABSTRACT
The article contains peculiarity of surface the concretes and reinforced concretes elements on the damage of sort’s cracks. Principal clauses consist on determination of zones higher the deformation by cracks, parameters of cracks and geometrical parameters of damages.
KEYWORDS: surface, damage.

Используем следующие предпосылки:

1. На поверхности максимальны показатели воздействий окружающей среды: температуры, солнечной радиации, атмосферных осадков и т.д.
2. Наибольшую концентрацию напряжений в материале вызывают трещины.
3. При механическом нагружении (однократном, малоцикловом, многоцикловом, статическом, динамическом) трещины, прежде всего, образуются на поверхности.
4. В среднем, наибольшее количество трещин образуется на поверхности элементов.
5. Трещинообразованию в материале предшествует разрыв, появление нарушений сплошности структуры материала как следствие возрастания деформаций по площадкам или объемам.
6. Считаем, что с появлением трещин вплоть до определенного состояния (приводящего далее к снижению достигнутой, пиковой сопротивляемости нагружению или воздействию) при измерениях включают и раскрытие трещин в составе деформаций.
7. Нарушения сплошности структуры – многостадийный процесс, в котором до окончательной стадии глобального разрушения элемента (разделения на части) происходят местные (локальные) разрушения, охватывающие малые площадки и объемы.
8. В отличие от хрупкого разрушения, происходящего вследствие развития единичного дефекта, в бетоне образуется не одно, а множество нарушений сплошности, рассеянных по площадям и объемам, и бетон сохраняет определенную сопротивляемость нагрузкам и воздействиям, т.е. является квазихрупким материалом.
9. В процессе распространения (развития) нарушений сплошности структуры в виде трещин последние по сравнению с размерами структурных (компонентов) бетона подразделяем на субмикро, микро, мезо, макро, магистральные трещины.
10. В общем случае дефекты (нарушения регулярности, сплошности структуры бетона) по геометрическому признаку подразделяются на точечные (вакансии, междуузлия), линейные (дислокации), плоские и объемные (поры, капилляры, трещины).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11. По времени зарождения указанные в п. 10 дефекты частично возникают в период изготовления элементов. Бетон – кристаллический материал. Часть дефектов (точечных) имеется в любых кристаллах (в природе идеальных кристаллов не существует [1]). Поверхностными дефектами решетки кристаллов являются межзеренные границы в поликристаллах (цементный камень и бетон – поликристаллические тела), границы двойников, внешняя поверхность кристалла. Включения с другой кристаллической структурой, аморфные включения – это трехмерные дефекты.

Реальные кристаллы обладают «мозаичной» структурой и состоят из «блоков» или «ячеек» размером около 1 мкм, слегка взаимно разориентированных (рис. 1). Вдоль границ таких блоков правильное расположение атомов (ионов) нарушено. При пластической деформации кристалла нарушается правильное расположение атомных плоскостей [1]. Кроме того, в цементном камне при изготовлении, нагружениях, воздействиях возникают дислокации, концентрация которых может достигать $10^{11}...10^{12}$ см$^{-2}$ [2].

12. Участки концентрации напряжений (места расположения пор, вершины трещин, плоскости спаянности и границы зерен кристаллитов) при нагружениях и воздействиях являются местом возникновения и последующего развития трещин в цементном камне. В основном это трещины (микротрещины) скола [3]. При этом отмечены два механизма образования ступенек скола: по плоскостям спайности при переходе в трещины в кристаллит с другой ориентации, либо в результате пластических сдвигов по плоскостям легкого скольжения, которые содержат молекулы подвижной воды.

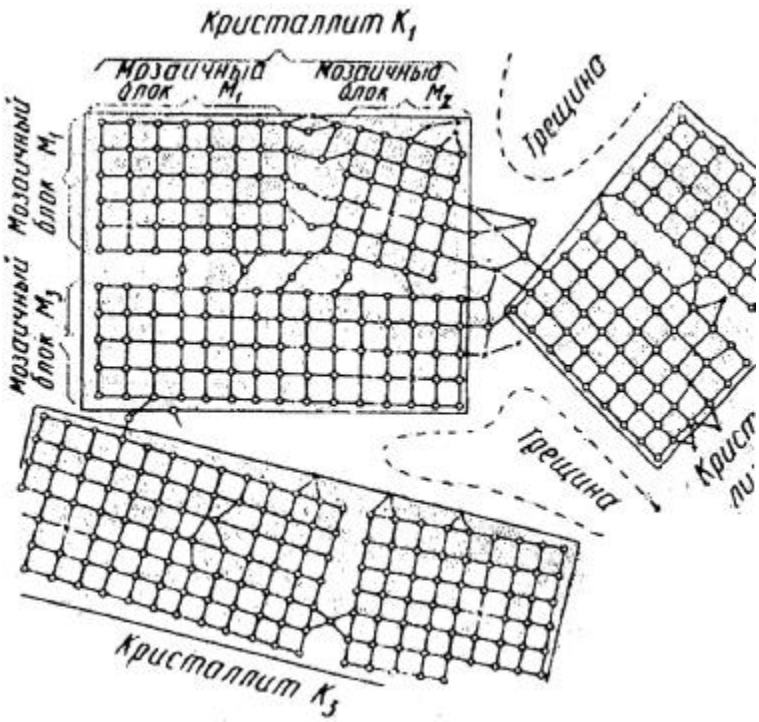


Рис. 1. Схема строения реального твердого тела [17]

Однако необходимо отметить следующие особенности деформации в поликристаллических материалах: из-за разной ориентации зерен деформация в них начинается неодновременно и развивается неоднородно. В первую очередь скольжение идет в благоприятно ориентированных зернах, внутри которых имеется система скольжения, где действуют максимальные касательные напряжения. В этих зернах, если они имеют достаточно большие размеры, некоторое время может наблюдаться типичное легкое скольжение.

Однако макроскопическое удлинение образца за счет легкого скольжения практически невозможно. Благоприятно ориентированных зерен обычно относительно мало, и они разобщены. Дислокация внутри благоприятно ориентированных зерен на начальных стадиях деформирования скользят без серьезных помех на большие расстояния, и многие из них доходят до границ зерен. Последние, как известно, являются эффективным барьером для дислокаций, которые тормозят здесь, образуя скопления. Вокруг скоплений возникают поля упругих напряжений, которые действуют на границы и прилегающие к ним участки соседних зерен в дополнение к приложенным извне напряжениям. В этих условиях могут работать дислокационные источники в приграничных областях,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

несмотря на относительно неблагоприятную ориентировку систем скольжения генерируемых ими дислокаций. Так происходит эстафетная передача деформации в поликристалле [4].

Прогрессирующее образование большого числа скоплений у границ возможно лишь на начальных стадиях деформации. Главной особенностью картины является неизбежность плотного контакта между зернами. Если бы каждое зерно деформировалось самостоятельно, вне связи с соседними, то на границах неизбежно возникали бы сплошности и полости, которые приводили бы к преждевременному разрушению. Теоретически, для предотвращения их возникновения необходимо, чтобы в приграничных областях работало минимум пять систем скольжения. Такое множественное и «согласованное» скольжение и обеспечивает целостность приграничных областей в процессе деформации. В результате интенсивной деформации приграничных объемов там наблюдается повышенная плотность дислокаций. Как показывают эксперименты, вдали от границ множественное скольжение в поликристаллах также начинается уже на ранних стадиях макродеформации. Вид упаковки ионов (атомов) в кристаллах влияет на количество плоскостей скольжения при деформировании.

В исследованиях с гексагональной плотно упакованной решеткой наиболее важным отличием с точки зрения деформации является наличие всего одной базисной плоскости преимущественного скольжения {0001} по нижнему основанию. Плотность упаковки атомов (ионов) в этой плоскости значительно больше, чем в любых других, и поэтому скольжение в небазисных плоскостях затруднено и идет под действием высоких напряжений на поздних стадиях деформации.

В связи с тем, что в цементном камне кристаллогидраты имеют неодинаковый химический состав, формируются разные типы кристаллических решеток. Если упаковка не является плотнейшей, то наблюдаются несколько плоскостей с близкой плотностью упаковки и, следовательно, будет несколько плоскостей с наибольшим межплостностным расстоянием [4, 5].

Перечисленные особенности кристаллитов (зерен) цементного камня: ограниченное (меньше пяти) число систем скольжения на границах кристаллитов, различие в ориентации плоскостей спайности приводит к механизму микроскола на этих границах (т.е. ограничению пластической деформации, начавшейся скольжением (преимущественно сдвигами) в пределах кристалла – квазихрупкости. Возникшие при этом трещины развиваются далее (при повышении нагрузок и воздействий) преимущественно по механизму отрыва. Последний механизм объясняется тем, что в вершине растущей трещины перестройки атомов (ионов) происходят гораздо сложнее, чем в ядре дислокации [1].

При взаимодействии частиц цементного камня реализуется ионная связь (предельный случай ковалентной связи), характеризуемая сильным различием электроотрицательности. При сближении валентные электроны одного атома полностью переходят на другой. В результате оба атома становятся ионами и принимают электронную структуру ближайшего благородного газа. Обычно ионную связь в физике (химии) рассматривают с помощью классических законов электростатики. Ионные кристаллы связаны электростатическими силами.

Ионные соединения имеют высокую прочность и температуры плавления.

Ионная связь не обладает свойствами направленности и насыщаемости [1], в отличие от ковалентной связи. Это обусловлено тем, что электрическое поле, создаваемое ионами, имеет сферическую симметрию и действует одинаково на все ионы.

Поэтому количество ионов, окружающих данный ион, и их пространственное расположение определяются только величинами зарядов ионов и их размерами.

Степень ионности в соединениях кальция и кремния может быть различной. Например, в CaO она составляет 79 %, в $Si0_2$ – 51 % [7].

При электростатическом взаимодействии между ионами происходит их деформация, называемая поляризацией. Чем больше поляризация ионов (приводящая к уменьшению эффективного расстояния между центрами положительных и отрицательных зарядов), тем меньше степень ионности, т.е. тем больше ковалентный характер связи между ними. В кристаллах поляризация оказывается не очень высокой (т.к. ионы симметрично окружены ионами противоположного знака и ион подвергается одинаковому воздействию во всех направлениях).

Целью вышеизложенного текста было представление влияющих причин в процессе взаимодействия элементов структуры цементного камня (бетона) с точки зрения физико-химии. При этом важны сведения об энергии кристаллической решетки ионного кристалла. Ее можно рассчитать по методу Борна-Габера. Для конкретных расчетов необходимо знать число ионов, окружающих рассматриваемый ион (координационное число) У n и валентности z $(z_1 ... z_i)$, а также расстояние

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

между центрами близлежащих друг к другу противоположно заряженных ионов r (r_a – для иона, r_k - для катиона). Капустинским А.Ф. предложена следующая формула для расчета энергии кристаллической решетки [7]:

$$U = \left[1200 \cdot \sum nr^2 \left(1 - 0{,}345/\left(r_a - r_k\right)\right)\right] / \left(r_a + r_k\right). \quad (1)$$

Для CaO, $Si0_2$, $A1_20_3$ вычисленная по формуле (1) энергия решеток соответственно равна (в кДж/моль): 3433; 13233; 15354. Погрешность этих определений по сравнению с экспериментальной составляет от -3 до +2,1 %.

Поскольку неупругие смещения в кристаллах (и в моно, и поликристаллах) в большинстве случаев происходят путем движения дислокаций (по основному атомному механизму неупругих деформаций [1, 4, 8], а дислокаций в структуре цементного камня при нагружении и воздействиях возникает большое число [2], во всяком случае достаточное для локального разрушения микроструктуры [9].

Конечная формула, связывающая величину макроскопической деформации сдвига с плотностью дислокаций c, длиной их пробега l и вектором Бюргерса b [1]:

$$e = r \cdot l \cdot b, \quad (2)$$

Установлено, что в нитевидных кристаллах мало дислокаций (они даже могут отсутствовать [10]). В микроструктуре цементного камня имеются подобные кристаллы иглообразной формы – эттрингит.

Возрастание неравномерности деформирования бетона на поверхности железобетонного элемента при трещинообразовании

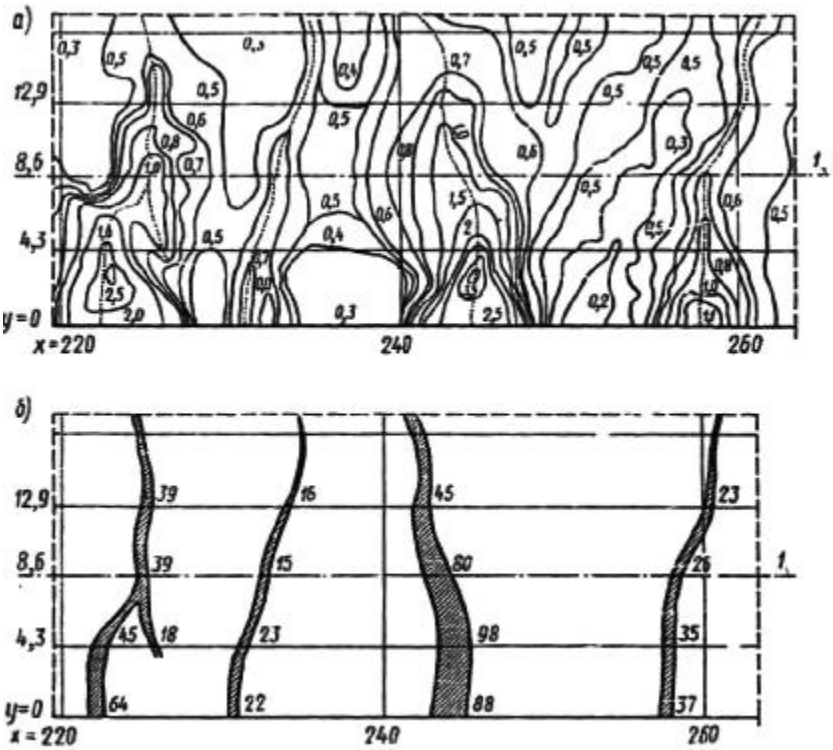


Рис. 2. Изохрома ширина раскрытия трещин на железобетонной балке (в зоне чистого изгиба) [11]: а – изохромы: б – ширина раскрытия трещин (в мкм); 1 – ось арматуры

По картине трещин и величин изохром, полученных при испытании железобетонной балки с использованием фотоупругих покрытий (в зоне чистого изгиба) [11] (рис. 2), и результатам нашего анализа приходим к следующим выводам:

а) перед появлением трещин и раскрытием их (в данном случае до 0,098 мм) в зонах вокруг трещин возникает резкое возрастание относительных деформаций. Максимальная величина их всплеска находилась около нижней образующей арматурного стержня (в плоскости будущих трещин). Отношение величин на вершинах всплесков к величине максимального спадания (на линии, проходящей по вершинам всех четырех трещин на рассматриваемом участке) составляло от 3,5 до 17,5. При этом это отклонение чуть выше верхней образующей арматурного стержня (куда вершины трещин не дошли) было не более трех раз.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

«Всхолмления» относительных деформаций круто спадают в перпендикулярном направлении к берегам трещин и более полого вдоль будущей траектории трещин. Площадь плато около вершин резко уменьшается в размерах (до 1… 2,5 мм в диаметре). Траектория будущих трещин не строго линейных отрезков, очевидно, завися и от размеров структурных элементов материала.

Наиболее важным фактом является ограниченность расстояний от берега трещин для всплесков относительных деформаций, которые составляют не более 3…5 мм (в зоне максимальных градиентов относительных деформаций *de/dx*, где *dx* – приращение координаты, перпендикулярное к траектории трещины).

Это позволяет прогнозировать ширину зоны повышенных относительных деформаций бетона около берегов трещин не только в пределах высоты защитного слоя бетона (равной максимальному раскрытию трещины плюс 2 х 5 = 10 мм), но и выше на полдиаметра арматурного стержня.

Отношение длины трещины к максимальному раскрытию (считая, что вторая слева трещина имеет длину *l* = 17,2 мм) равно: $l/a_{crc}^{max} = 17{,}2/0{,}023 = 748$.

Представляют интерес следующие данные: средние значения относительных деформаций в 17,2 мм от нижней грани железобетонной балки в 2,23 раза меньше, чем у нижней образующей арматурного стержня, что вызвано увеличением относительных деформаций при образовании трещин. При этом, у более раскрытых трещин наблюдается более интенсивное увеличение относительных деформаций. Отношения максимальных величин всплесков относительных деформаций к максимальному раскрытию соответствующей трещины (всем четырем трещинам) находятся в интервале 3,04…3,90, при среднем 3,41. Отклонения от среднего от +14,3 до -12,2 %.

Диаграмма деформирования *e* прямолинейна в пределах упругости и нелинейна в пределах неупругости до наступления разрывов сплошности, а после наступления разрыва (появления трещины) относительные деформации дополнительно возрастают, и диаграмма искривляется еще в большей степени. Поэтому наличие трещин благоприятно располагаемых относительно потока напряжений для последующего раскрытия вызывает необходимость учета псевдодеформаций от раскрытия трещин в соответствующем поперечном сечении (без армирования или с армирования).

Как показывают эксперименты [12], параметры трещин коррелированы между собой, находясь в определенном соотношении (например, для тяжелого бетона) при растяжении отношение длины макротрещины к максимальному ее раскрытию на поверхности.

$$l_y / a_{crc}^{max} \approx 3000...6000, \tag{3}$$

Отношение заглубления трещины с поверхности в нижерасположенные объемы бетона:

$$l_z / a_{crc}^{max} \approx 300...600. \tag{4}$$

Здесь координаты y, z обозначают соответственно направление, перпендикулярное горизонтальной продольной оси элемента на поверхности элемента и по нормали к поверхности.

Определенный разброс соотношений можно объяснить влиянием большого числа факторов, более трех десятков [13], которые к настоящему времени по влиянию на сопротивляемость повреждаемости изучены недостаточно. Наиболее существенно влияющие среди них (прочностные и деформативные характеристики) имеют определенный закон распределения по вероятности величин [14].

Предложенные оценочные выражения (3), (4) позволяют ориентировочно определять площадь трещины в рассматриваемых поперечных сечениях элементов и, следовательно, геометрический параметр повреждаемости *П* [15], с учетом которого можно определить эффективное напряжение в поперечном сечении $y_э$ [16].

$$s_э = s_0 / (1 - П)^a, \tag{5}$$

где y_0 – напряжение в рассматриваемом сечении без учета повреждений, определяемое по действующим нормам проектирования.

$$П = A_{crc} / A_0, \tag{6}$$

здесь A_{crc}, A_0 – соответственно площадь трещин в рассматриваемом сечении элемента, площадь поперечного сечения без повреждений.

б – коэффициент влияния неучтенных факторов (до накопления экспериментальных данных принимается равным 1, к примеру, несимметричная трещина относительно центра тяжести поперечного сечения может вызывать появление некоторого изгибающего момента от равнодействующей напряжения по площади нетто, могут быть концентраторы напряжений и др.).

Далее вычисленное $y_э$ сравниваем с расчетным сопротивлением бетона, например R_b:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$s_э / R_b \le 1, \quad (7)$$

$$s_э / R_b > 1, \quad (8)$$

Первый случай сравнения показывает соблюдение требований прочности в рассматриваемом сечении элемента, второй – нет.

Заключение

Основные результаты статьи – обобщены некоторые сведения о свойствах поверхности бетона в строительных элементах, влиянии микроструктурного строения на повреждаемость, предложены количественные оценки для величины относительных деформаций в зависимости от плотности, длины пробега дислокаций, для величины зон повышенных деформаций вокруг трещин с раскрытием до 0,1 мм, приведены осредненные соотношения для параметров макротрещин, позволяющие ориентировочно определять объем трещин, предложен геометрический параметр повреждаемости в поперечном сечении элемента с трещиной для определения эффективного напряжения, позволяющего ориентировочно судить о работоспособности элемента в рассматриваемом сечении с трещиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. – М.: Высшая школа, 1983.
2. Макридин Н.М., Моисеева И.Н., Прошин А.Н., Соломатов В.Н., Соколова Ю.А. Структура, деформативность и критерии разрушения цементных бетонов. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2001.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1978.
4. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Изд-во Металлургия, 1983.
5. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии. – Л.: Химия, 1974.
6. Gandhi C, Ashby M.F. Acta met, 27, 1565-1602, 1979.
7. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: СИ, 1981.
8. Коттрел Л. Теория дислокаций. – М.: Мир, 1969.
9. Ахметзянов Ф.Х. Особенности физической структуры цементного камня и микроструктурная повреждаемость // Сб. статей III Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2004. – С. 21-30.
10. Макмиллан Н. Идеальная прочность твердых тел. Новое в зарубежной науке // Атомистика разрушения. Сб. статей. Вып. 40. – М.: Мир, 1987. – С. 35-103.
11. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991.
12. Ахметзянов Ф.Х., Арсентьев Е.З. О соотношении заглубления трещин в бетоне к ширине их раскрытия на поверхности бетонных и железобетонных конструкций // Тезисы 2-ой всесоюзной конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции». – Чебоксары, 1999. – С. 26-28.
13. Ахметзянов Ф.Х. Классификация повреждений бетона, предпосылки оценки его остаточной несущей способности в строительных элементах бетона при отсутствии и наличии армирования с простым механическим нагружением // Известия КазГАСУ, 2009, № 2(12). – С. 99-102.
14. Лычев А.С., Карякин И.Н. Надежность железобетонных конструкций. – Самара, 1985.
15. Ахметзянов Ф.Х. К оценке прочности и долговечности повреждаемых бетонных и железобетонных элементов. – Казань: «Новое знание», 1997.
16. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкции. – М.: Наука, 1968.
17. Мгедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1971.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.012.35/45
Ф.С. Замалиев – кандидат технических наук, доцент
Р.А. Сагитов – инженер
Ш.Н. Хайрутдинов – инженер
E-mail: shamil153@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИСПЫТАНИЕ ФРАГМЕНТА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ НА СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

АННОТАЦИЯ

Целью испытания являлось определение напряженно-деформированного состояния фрагмента сталежелезобетонного перекрытия при статических нагрузках. Приведены графики развития прогибов, деформаций сдвига на границе сталь-бетон и деформаций нижнего пояса стальных балок перекрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталежелезобетонные конструкции, статическая нагрузка, испытание.

F.S. Zamaliev – candidate of technical science, associate professor
R.A. Sagitov – engineer
Sh.N. Khayrutdinov – engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering

STATIC LOAD TEST OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE CEILING FRAGMENT

ABSTRACT

The purpose of this test is estimation of the stress-strain mode of composite steel and concrete ceiling fragment under static load. The diagrams of deflection increase, shear strain of steel-concrete connection, and tensile strain of the bottom flange of steel beams are given.

KEYWORDS: composite steel and concrete structures, static load, test.

При реконструкции жилых и общественных зданий возникает потребность замены существующих перекрытий по деревянным балкам, не нарушая при этом статической связности зданий. Замену деревянных перекрытий в отечественной практике часто производят с помощью металлических балок и железобетонного настила. Однако, при проектировании таких конструкций часто исходят из предпосылки, что стальная балка и железобетонная плита работают отдельно и не связаны друг с другом. Но в зарубежной практике и в ряде случаев, имевших место в России и в том числе в Республике Татарстан, в качестве перекрытия применяли сталежелезобетонные конструкции, запроектированные с учётом совместной работы стальной балки с железобетонной плитой.

Однако в целом сталежелезобетонные конструкции в отечественной практике не нашли должного распространения. Это, вероятно, связано с отсутствием нормативной базы и малой изученностью сталежелезобетонных перекрытий. Целью этой работы явилось проведение испытания фрагмента сталежелезобетонного перекрытия и получение экспериментальных данных напряженно-деформированного состояния для последующего их использования в разработке новых методик расчёта.

1. Экспериментальная установка.

В качестве фрагмента для испытаний изготовлено сталежелезобетонное перекрытие размерами 6000х6000 мм. Стальная часть перекрытия состоит из шести прокатных двутавровых балок № 20 по ГОСТ 8239-89 длиной 6000 мм, расположенных с шагом 1200 мм; бетонная часть: длина – 6000 мм, ширина – 6000 мм, высота – 80 мм. Армирование бетонной части производилось арматурными сетками из проволоки Ш5 Вр-I с шагом 100 мм по классической схеме для неразрезной балки. Совместность работы стальной и бетонной частей сталежелезобетонной конструкции достигалась за

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

счет двух рядов вертикальных анкерных стержней (2 Ш10 60 мм А-III), приваренных по всей длине к верхнему поясу стальных балок с шагом 150 мм в середине пролета, и 100 мм – по концам.

Применялся бетон класса В22,5 (М 300). Для определения его расчётных характеристик были изготовлены контрольные образцы – кубы 100х100х100 мм. При заливке монолитного бетона его уплотнение производилось глубинным вибратором.

Рис. 1. Вид опытной СЖБ плиты под нагрузкой

2. Измерительная аппаратура и методика замеров.

Для измерения деформаций стали и бетона на их поверхности наклеивались тензорезисторы с базой 50 мм (для бетона) и 20 мм (для стали). Продольные прогибы конструкции замерялись по центрам стальных балок с помощью линеек, укреплённых жестко на металлических треногах. Сдвиг по контакту сталь-бетон замерялся индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, укреплявшимися к концам стальных балок. Момент образования трещин и характер трещинообразования определяли визуально, а величина раскрытия трещин определялась с помощью микроскопа МБП-2 с 24-хкратным увеличением. Опытная разрушающая нагрузка фиксировалась путём предварительного определения веса всех грузов.

3. Результаты испытания.

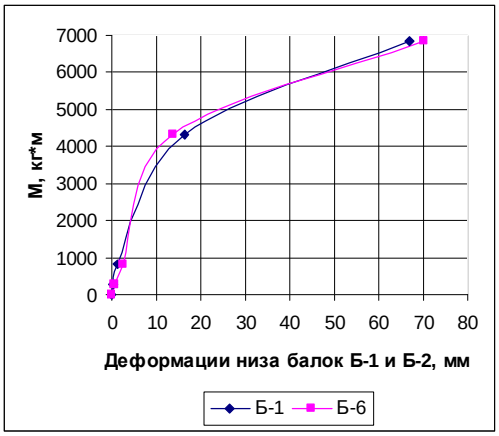
Испытание проводилось постепенным нагружением однократной кратковременной статической нагрузкой сталежелезобетонной плиты перекрытия ступенями по 1/20 от ожидаемой разрушающей нагрузки. После каждого этапа нагружения снимались показания всех датчиков, индикаторов и прогибы.

При испытании изучался характер трещинообразования верхней и нижней граней железобетонной полки сталежелезобетонной плиты, а также закономерности развития деформаций бетона и стали несущих балок и монолитной плиты опытной сталежелезобетонной плиты.

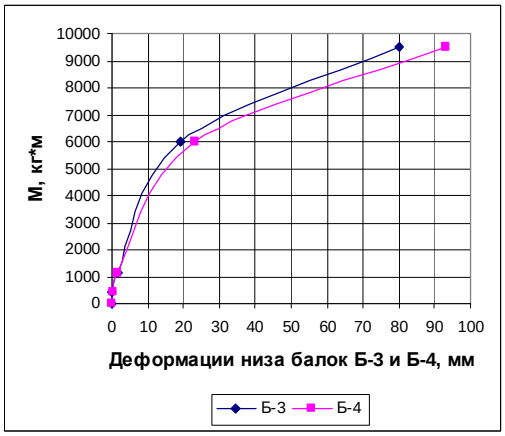
Испытуемую плиту нагружали распределённой нагрузкой до 91 т. При нагрузке в 91 т прогиб конструкции составлял в разных зонах от 7,5 до 12 см, что составляет 1/50 длины конструкции (стальных балок). Таким образом, прогибы достигли недопустимых значений. При нагрузках от 0 до 91 напряжения продолжали наращиваться, происходило постепенное раскрытие продольных трещин в бетоне непосредственно над стальными балками, образовывалась сетка трещин в нижней части бетонной плиты, прогибы конструкции достигали 12 см, что означало наступление обеих групп предельных состояний.

При испытании опытной сталежелезобетонной плиты также изучались закономерности развития прогибов несущих балок фрагмента. Во всех шести несущих балках происходило увеличение прогибов при возрастании уровня нагружения, причем интенсивность их развития была различной на разных этапах.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



а)



б)

Рис. 2. Деформации крайних фибр нижнего пояса стальной части, измеренные в зоне чистого изгиба на участке 60 см, для крайних (а) и средних (б) балок плиты

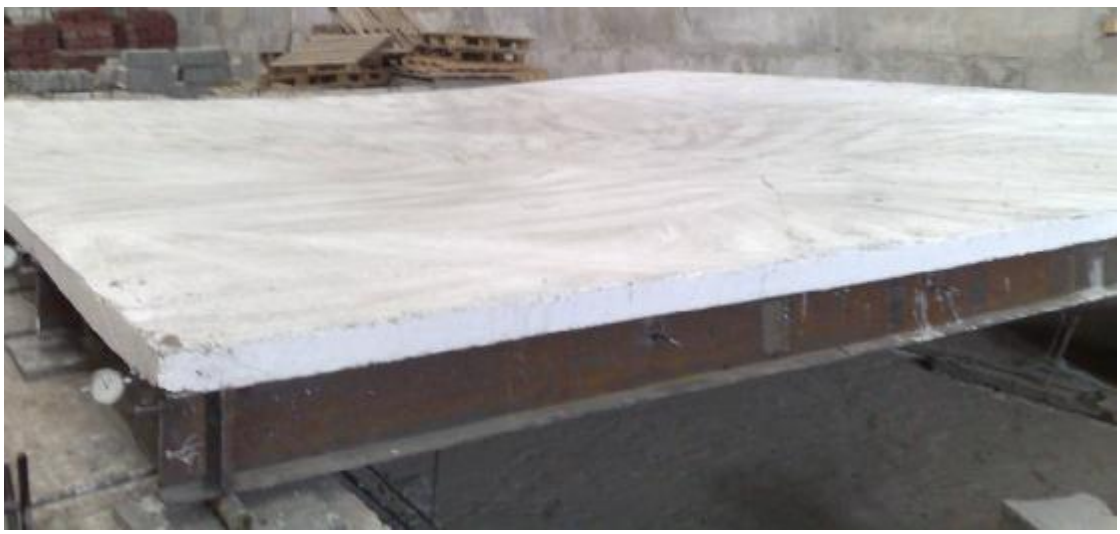


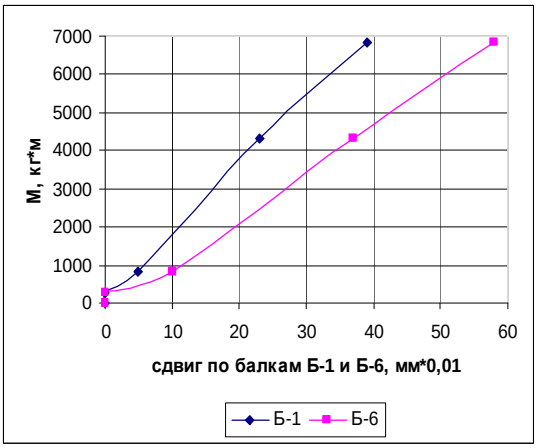
Рис. 3. Общий вид опытной сталежелезобетонной плиты после испытания

На начальных этапах загружения наблюдается практически прямая пропорциональность между изгибающим моментом и прогибами, а затем с изменением эпюры деформаций по высоте сталежелезобетонного сечения, вследствие появления неупругих деформаций стали, происходит интенсивный рост прогибов при незначительном увеличении нагружения, т.е. излом графика прогибов. Наличие изломов на графиках прогибов свидетельствует о снижении жесткости несущих балок сталежелезобетонного фрагмента при увеличении уровня нагружения.

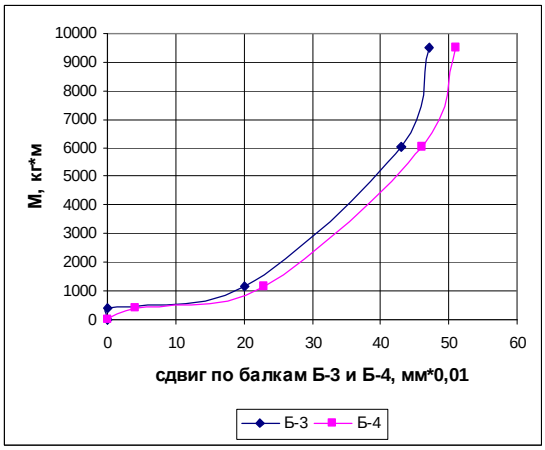
Снижение жесткости несущих сталежелезобетонных балок происходит по растянутой зоне, вследствие снижения модуля упругости стали после того, как сталь сталежелезобетонного сечения входит в зону неупругих деформаций. Это объясняется сдерживающим влиянием неразрезной железобетонной плиты фрагмента сталежелезобетонного перекрытия, работающей в двух направлениях, и постепенным её включением в работу с увеличением уровня нагружения.

Наибольшее значение прогибов, а также наибольшие значения деформаций сжатия и растяжения в одинаковых сечениях по длине пролета достигались в средних (третьей и четвёртой) стальных балках опытной сталежелезобетонной плиты. Напряжения (деформации) нижних фибр стальной части сталежелезобетонного сечения развиваются более интенсивно, чем напряжения (деформации) по верхней грани бетонной полки, что свидетельствует о перераспределении усилий между сталью несущих балок и бетоном плиты и постепенном смещении нейтральной оси в сторону стальной части фрагмента сталежелезобетонного перекрытия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

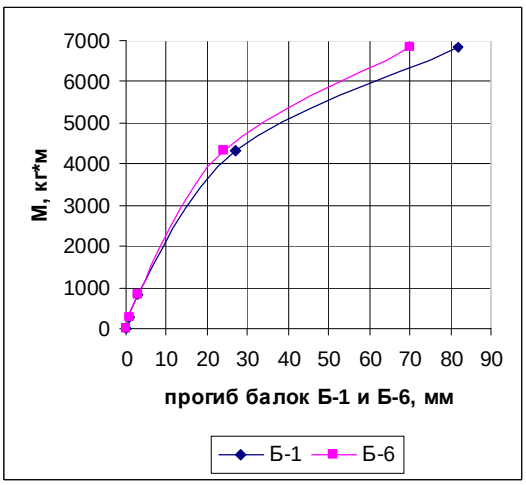


а)

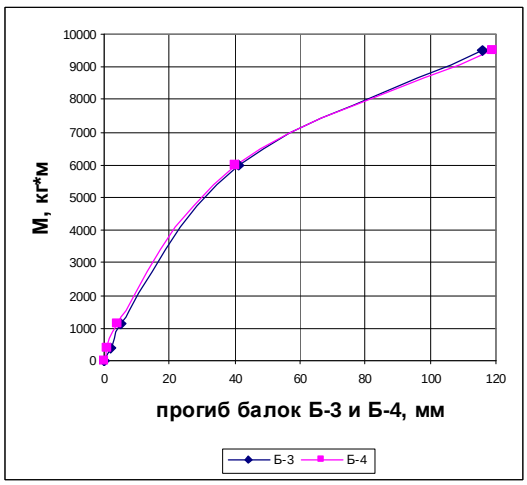


б)

Рис. 4. Графики развития максимальных деформаций абсолютного сдвига Δsh на границе контакта «сталь-бетон» для крайних (а) и средних (б) балок фрагмента перекрытия на различных этапах нагружения



а)



б)

Рис. 5. Графики развития прогибов в координатах «M-f» для крайних (а) и средних (б) балок фрагмента перекрытия на различных этапах нагружения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. – М.: Стройиздат, 1996. – 210 с.
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Замалиев Ф.С. Сталежелезобетонные конструкции. Новые методы расчета. – Казань, 1997. – 51 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.071.2
А.С. Колобанов – кандидат технических наук, ассистент
С.В. Третьякова – инженер
E-mail: akolobanov905@gmail.com
Липецкий государственный технический университет
Л.С. Сабитов – кандидат технических наук, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СРЕД

АННОТАЦИЯ
В статье приводятся этапы технического осмотра, а также характерные дефекты металлических конструкций, эксплуатирующихся в цехах прокатного производства. Приведен анализ статистической информации о состоянии профилированного листа покрытия, работающего на наиболее агрессивных участках цеха.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остаточный ресурс, обследование, профилированный лист.

A.S. Kolobanov – candidate of technical sciences, assistant
S.V. Tretyakova – engineer
Lipetsk State Technical University
L.S. Sabitov – candidate of technical sciences, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering

INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES, WORKING IN CONDITIONS OF CORROSIVE-GAS ENVIRONMENTS

ABSTRACT
In this work the stages of inspection as well as specific defects in metal structures operated in the shops rolling production are described. The analysis of statistical information on the status of the profiled sheet, working on the aggressive parts of the shop is resulted.
KEYWORDS: residual life, survey, profiled sheet is resulted.

Надежная и безопасная работа строительных конструкций зданий и сооружений может обеспечиваться только при своевременном проведении технического диагностирования, основанного на использовании современных методов технической диагностики, методик и средств неразрушающего контроля, которые необходимо применять на стадии эксплуатации для достоверного прогнозирования срока службы того или иного конструктивного элемента.

В настоящее время повышению долговечности и надежности зданий и сооружений, а также периодической технической диагностике уделяют особое внимание. Произошедшие за последнее время аварии зданий и сооружений с большим количеством человеческих жертв (один из примеров: авария на Саяно-Шушенской ГЭС, случившаяся 17 августа 2009 г.) накладывают определенные обязательства как на эксплуатирующие организации, так и на проектировщиков. Особенно это актуально для зданий и сооружений, работающих в условиях агрессивных газовоздушных сред.

Оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений проводится в несколько этапов.

Подготовительные работы:

- ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением. Составление методики работ на основе полученного от заказчика технического задания. Изучение имеющейся проектно-технической документации, а также, если имеется, результаты ранее проведенных обследований.

Предварительное (визуальное) обследование:

- визуальное обследование конструкций, визуальное выявление дефектов и повреждений по внешним признакам с необходимыми замерами и их фиксацией. Обмер геометрических характеристик конструкций.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Детальное (инструментальное) обследование:

- определение расчетной схемы зданий, усилий в конструкциях, а также характеристик материалов несущих конструкций, воспринимающих эксплуатационные нагрузки.

Инструментальное определение параметров дефектов и повреждений:

- проводится детальное техническое освидетельствование состояния конструкций с последующим анализом и статистической обработкой результатов освидетельствования;
- выявляются характерные дефекты и повреждения;
- производится камеральная обработка и анализ причин появления дефектов и повреждений;
- производится измерения параметров агрессивности технологической среды, а также определения параметра скорости коррозии:
- замер газовоздушной среды;
- проведение натурных (стендовых) испытаний.

Для определения скорости коррозии применяется метод стендовых испытаний, который заключается в следующем. Образцы в виде пластин взвешиваются (аналитические весы) и закрепляются в стендах, которые размещаются в уровне конструкций покрытия в различных местах.

Через некоторые промежутки времени из стендов вынимают образцы. С поверхности образцов химически удаляют продукты коррозии. После каждого цикла образцы взвешивают. По результатам обработки данных определяют начальную скорость коррозии металла в производственных условиях.

Рассмотрим данную методику на примере. В нашем регионе представитель такого производства – комбинат ОАО «НЛМК», а именно – цеха холодного проката, от которых зависит рентабельность всего предприятия в целом. Объектом исследований выступают цеха холодного проката ПХПП, ПДС, ПТС.

В ходе работы выявлялись характерные дефекты и повреждения конструкций покрытия, уровень произведенных строительно-монтажных и ремонтных работ, а также степень антикоррозионной защиты.

Так, например, характерным примером нарушения правил проведения ремонтных работ являлось размещение и складирование в неустановленных ППР местах на кровле материалов, оборудования и демонтированных конструкций, носящее ограниченный локальный характер, что приводило к деформации профилированного листа. На рис. 1 показано характерное нарушение правил при выполнении строительно-монтажных работ.

Рис. 1. Характерное нарушение правил проведения строительно-монтажных работ

На рис. 2 представлен характер деформации профнастила под действием локальной непроектной нагрузки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 2. Деформированный участок профилированного настила

Для профилированного настила различные зазоры при укладке, неплотности прилегания листов также интенсифицируют процесс развития коррозии. На рис. 3 изображен участок покрытия с характерным разрушением настила вследствие различных отклонений от правил при его укладке. Если по каким-либо причинам профилированный настил перестает удовлетворять условиям первого или второго предельного состояний, то его чаще всего заменяют.

Рис. 3. Укладка настила без нахлестки

При определении степени коррозионного износа конструкций покрытия мы оценивали состояние антикоррозионной защиты, наличие дефектов и повреждений профилированного листа, вид дефектов и относительную площадь участков с коррозионными повреждениями. В местах, поврежденных коррозией, устанавливали характер коррозионного разрушения металла и измеряли глубину проникновения коррозии. Технология проката стали в цехах ПХПП и ПДС во многом схожа, и травление производится соляной кислотой. В травильном отделении этих цехов при концентрации хлороводорода до 11,0 мг/м^3 и относительной влажности 65-70 % в уровне конструкций покрытия нами наблюдалось значительное коррозионное разрушение на поверхности всех конструкций. На рис. 4 показано состояние конструкций покрытия, эксплуатирующихся в травильном отделении цеха ПХПП и ПДС.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 4. Состояние профилированного настила, эксплуатирующегося в травильном отделении

Травление в цехе ПТС производится серной кислотой, и коррозионные разрушения в данном цехе имеют отличный характер, а порой даже катастрофический. На рисунке 5 показано обрушение плиты покрытия, имевшей производственный дефект после 15 лет эксплуатации.

Рис. 5 Обрушение плиты покрытия

На рис. 6-7 показаны гистограммы, на которых приведено количественное сравнение обследуемых участков и участков, требующих замены вследствие коррозионных разрушений в зданиях цехов холодного проката ОАО «НЛМК».

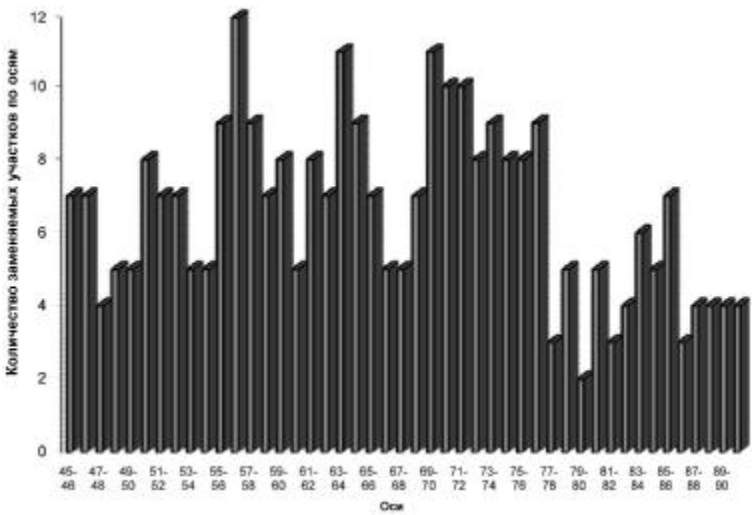


Рис. 6. Схемы количественного сравнения обследуемых участков и участков, требующих замены в травильном отделении

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

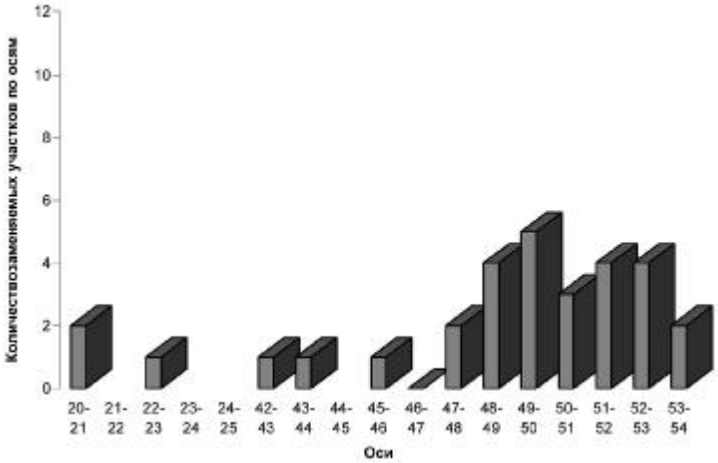


Рис. 7. Схемы количественного сравнения обследуемых участков и участков, требующих замены в отделении листоотделки

Гистограммы наглядно показывают, что наибольшее коррозионное разрушение наблюдается на участках травильного отделения. По мере удаления от этих участков коррозионный износ конструкций значительно уменьшился.

В результате оценки технического состояния конструкций покрытия в цехах холодного проката комбината ОАО «НЛМК» были классифицированы дефекты и повреждения. Установлено, что они делятся на две группы:

1) дефекты, вызванные низким уровнем выполнения строительно-монтажных работ – 12 % (местное смятие, выгибы, вырезы и т.п.);

2) коррозионный износ конструкций, провоцирующийся сильноагрессивной газовоздушной средой и влажным режимом эксплуатации – 88 %.

Анализ статистических данных о повреждаемости конструкций покрытия на разных участках цехов подтвердил, что основным повреждающим фактором для конструкций покрытия, эксплуатирующихся в агрессивных средах, является коррозионный износ.

Выполнение расчетов по определению остаточного ресурса с учетом коррозионных повреждений:

- для определения остаточного ресурса конструкций зданий и сооружений используются данные, полученные из результатов стендовых испытаний и замеров технологической среды [1, 2, 3, 4].

Разработанный метод позволяет, по результатам визуального и инструментального обследования, оценить техническое состояние конструкций покрытия, а также осуществить прогноз изменения этого состояния во времени и определить пути оптимизации последующих эксплуатационных расходов. Кроме того, по мере накопления информационной базы проводится оценка и корректировка проектных решений на стадии проектирования.

По данной методике в НИС ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет» выполняют обследование зданий и сооружений, работающих в условиях газовоздушных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.В. Оценка остаточного ресурса оцинкованных конструкций покрытия прокатных цехов основного производства ОАО «НЛМК» / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Науч. вестник Воронежского архитектурно-строительного университета, 2008, № 1(9). – С. 61-66.
2. Михайлов В.В. О несущей способности оцинкованных конструкций покрытия, работающих в хлороводородсодержащих средах / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Наука и инновации в строительстве. Оценка риска и безопасность в строительстве. Ноябрь 2008 г.: междунар. конгр. Т. 3. – SIB-2008. – Воронеж, 2008. – С. 256-261.
3. Михайлов В.В. Исследование коррозионной стойкости конструкций покрытия цехов холодного проката стали / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов, О.И. Лифинцев // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Строительство и архитектура», 2007, № 7(26). – С. 28-32.
4. Михайлов В.В. К вопросу несущей способности оцинкованных конструкций покрытия, эксплуатирующихся в агрессивных газовоздушных средах / В.В. Михайлов, А.С. Колобанов // Наука и безопасность. Предотвращение аварий зданий и сооружений. Дек. 2008 г. Электронный журнал. URL: http://pamag.ru/pressa/ocink-pokritiya.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.011.2
М.В. Колобов – аспирант, инженер
E-mail: nnnmiha@mail.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕРХНЕГО ПОЯСА ДОЩАТЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ С СОЕДИНЕНИЯМИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ

АННОТАЦИЯ
Приводится решение задачи об определении вероятности неразрушения (надежности) сжато-изгибаемых составных дощатых элементов на металлических зубчатых пластинах.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлические зубчатые пластины, надежность, вероятность отказа, напряжение, композиции гауссовских распределений.

M.V. Kolobov – post-graduate student, engineer
Nizhegorodskiy State University of Architecture and Engineering

ESTIMATION OF RELIABILITY OF COMPRESSED-BENT COMPONENTS OF THE TOP BELT OF BOARD FARMS OF THE COVERING WITH CONNECTIONS ON METAL NAIL PLATES

ABSTRACT
The decision of a problem on probability definition undestruction (reliability) of compressed-bent compound board elements on metal nail plates is resulted.
KEYWORDS: metal nail plates, reliability, probability of refusal, pressure, compositions gauss distributions.

Наиболее распространенными несущими конструкциями покрытия из досок с соединениями на металлических зубчатых пластинах (МЗП) являются треугольные фермы. Для изготовления ферм используются пиломатериалы хвойных пород древесины толщиной 40…60 мм и шириной 100…150 мм. Пиломатериалы шириной свыше 150 мм уже сейчас являются дефицитным материалом. Поэтому для увеличения высоты поперечного сечения верхнего пояса таких ферм они выполняются составными, как правило, из двух досок шириной 100…150 мм, соединенных по длине пояса металлозубчатыми пластинами.

Элементы верхнего пояса таких ферм работают от совместного действия продольной сжимающей силы N и изгибающего момента M. Сжимающее усилие N в наиболее напряженной опорной панели верхнего пояса треугольных ферм пролетом Z, загруженных равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q, может быть определено по формуле:

$$N = \psi \cdot \frac{q \cdot z}{n \cdot sin\alpha}, \qquad (1)$$

где ψ – множитель, зависящий от числа панелей n [1] (например, для n = 4 $\psi = 1{,}5$, а для n = 6 – $\psi = 2{,}5$); α – угол наклона верхнего пояса.

Для дощатых ферм на МЗП пролетом Z = 9…12 м с целью уменьшения расхода древесины на элементы решетки и количества узловых соединений число панелей n = 4.

Расчет на прочность сжато-изгибаемых составных деревянных элементов на МЗП может быть выполнен по формуле [2]:

$$\frac{N}{F_{нт}} + 1{,}1 \cdot \frac{M_{Д}}{W_{нт}} \le R_{c}, \qquad (2)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где $F_{нт}$ и $W_{нт}$ – соответственно площадь и момент сопротивления расчетного сечения нетто; R_c – расчетное сопротивление сортной древесины при сжатии; $M_Д = M / \xi$ – изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме; ξ – коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы:

$$\xi = 1 - \frac{\lambda_{пр}^2}{3000} \cdot \frac{N}{F_{бр} \cdot R_c}, \tag{3}$$

где $\lambda_{пр}=\lambda \cdot \mu$ – приведенная гибкость составного элемента [3]; $\lambda = l_п / 0{,}289 \cdot h$; $l_п$ – длина панели верхнего пояса; h – высота сечения пояса; $\mu = \sqrt{K_ж}$ – коэффициент жесткости [3, 4].

Анализ выполненных расчетов показал, что для двуслойных верхних поясов треугольных дощатых ферм с расчетной длиной панели $l_п = 2{,}5...3{,}2$ м, когда краевое напряжение сжатия $\sigma \cong R_c$, коэффициент (3) имеет устойчиво постоянное значение, равное $\xi = 0{,}76$. Тогда зависимость (2) может быть представлена в виде:

$$\frac{N}{F_{нт}} + 1{,}45 \cdot \frac{M}{W_{нт}} \le R_c. \tag{4}$$

Для сжато-изгибаемых элементов соотношение значений M и N характеризуется величиной эксцентриситета $e = M/N$. Воспользуемся величиной относительного эксцентриситета, представляющего отношение абсолютного эксцентриситета e к радиусу ядра сечения $\rho = W_{нт} / F_{нт}$, т.е.:

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{M}{N} \cdot \frac{F_{нт}}{W_{нт}}. \tag{5}$$

С учетом (5) из (4) получим:

$$\frac{N}{F_{нт}} \cdot (1 + 1{,}45 \cdot m) \le R_c, \tag{6}$$

или

$$N = \frac{R_c \cdot F_{нт}}{1 + 1{,}45 \cdot m}. \tag{7}$$

Для прямоугольного поперечного сечения:

$$m = e \cdot \frac{6 \cdot b \cdot h}{b \cdot h^2} = e \cdot \frac{6}{h}. \tag{8}$$

Тогда из (7) получим:

$$N = \frac{R_c \cdot b \cdot h^2}{h + 8{,}7 \cdot e}. \tag{9}$$

Поскольку верхний пояс ферм состоит из двух досок шириной h_1 каждая, то $h = 2 \cdot h_1$. Следовательно:

$$N_c = \frac{4 \cdot R_c \cdot b \cdot h_1^2}{2 \cdot h_1 + 8{,}7 \cdot e}. \tag{10}$$

По формуле (10) может быть определена величина продольной сжимающей силы, воспринимаемая расчетным сечением сжато-изгибаемого элемента.

В этом случае условие прочности может быть представлено в виде:

$$N \le N_c, \tag{11}$$

где N – продольная сжимающая сила, определенная от внешних нагрузок.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Функциональная зависимость величин, входящих в выражение (11), может быть представлена выражениями:

$$N = \Phi(q,z); \tag{12}$$

$$N_c = \Phi(R_c, b, h_1, e). \tag{13}$$

В выражениях (12) и (13) величины q, z, R_c, b, h_1 и e являются случайными. С учетом изменчивости величин, входящих в выражения (12) и (13), должно выполняться условие:

$$N + \Delta N \le N_c + \Delta N_c, \tag{14}$$

где ΔN и ΔN_c – изменчивость величин N и N_c.

Известно, что изменчивость этих величин может быть описана законом нормального распределения [5, 6]. Тогда по теореме о композиции гауссовских распределений [композиция нормальных (гауссовских) распределений при любом числе слагаемых дает нормальное распределение] величины ΔN и ΔN_c симметричны и распределены по Гауссу [5].

Преобразуя (14), получим:

$$N - N_c \le \Delta N_c - \Delta N = \tilde{N}_\Delta. \tag{15}$$

В этом неравенстве левая часть является постоянной величиной, а правая случайной величиной $\tilde{N}_\Delta$, характеризуемой отклонением действительных параметров от их расчетных значений.

Для определения среднеквадратического отклонения величин N и N_c выполним дифференцирование выражений (1) и (10) по их случайным аргументам:

$$\frac{\partial N}{\partial q} = \frac{\psi \cdot z}{n \cdot sin\alpha} = \Gamma_1; \tag{16}$$

$$\frac{\partial N}{\partial z} = \frac{\psi \cdot q}{n \cdot sin\alpha} = \Gamma_2; \tag{17}$$

$$\frac{\partial N_c}{\partial R_c} = \frac{4 \cdot b \cdot h_1^2 \cdot (2 \cdot h_1 + 8{,}7 \cdot e)}{4 \cdot h_1^2 + 34{,}8 \cdot h_1 \cdot e + 76 \cdot e^2} = \Gamma_3; \tag{18}$$

$$\frac{\partial N_c}{\partial b} = \frac{4 \cdot R_c \cdot h_1^2 \cdot (2 \cdot h_1 + 8{,}7 \cdot e)}{4 \cdot h_1^2 + 34{,}8 \cdot h_1 \cdot e + 76 \cdot e^2} = \Gamma_4; \tag{19}$$

$$\frac{\partial N_c}{\partial h} = \frac{R_c \cdot b \cdot h_1 \cdot (8 \cdot h_1 + 70 \cdot e)}{4 \cdot h_1^2 + 34{,}8 \cdot h_1 \cdot e + 76 \cdot e^2} = \Gamma_5; \tag{20}$$

$$\frac{\partial N_c}{\partial e} = \frac{-34{,}8 \cdot R_c \cdot b \cdot h_1^2}{4 \cdot h_1^2 + 34{,}8 \cdot h_1 \cdot e + 76 \cdot e^2} = \Gamma_6. \tag{21}$$

По теореме о композиции гауссовских процессов дисперсия $\hat{N}_\Delta$ случайной величины $\tilde{N}_\Delta$ может быть определена по формуле:

$$\hat{N}_\Delta = \hat{N}_{\Delta N} + \hat{N}_{\Delta N_c}, \tag{22}$$

в которой значения дисперсий $\hat{N}_{\Delta N}$ и $\hat{N}_{\Delta N_c}$ определяются из выражений:

$$\hat{N}_{\Delta N} = \Gamma_1^2 \cdot \hat{q} + \Gamma_2^2 \cdot \hat{z}; \tag{23}$$

$$\hat{N}_{\Delta N_c} = \Gamma_3^2 \cdot \hat{R}_c + \Gamma_4^2 \cdot \hat{b} + \Gamma_5^2 \cdot \hat{h} + \Gamma_6^2 \cdot \hat{e}. \tag{24}$$

Следовательно, среднеквадратическое отклонение $\hat{N}_\Delta$ случайной величины $\tilde{N}_\Delta$ определяется по формуле:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\hat{N}_{\Delta} = \sqrt{\Gamma_1^2 \cdot \hat{q} + \Gamma_2^2 \cdot \hat{z} + \Gamma_3^2 \cdot \hat{R}_c + \Gamma_4^2 \cdot \hat{b} + \Gamma_5^2 \cdot \hat{h} + \Gamma_6^2 \cdot \hat{e}}. \qquad (25)$$

Дисперсии геометрических параметров пиломатериалов определены по данным исследований авторов, которые составили [7]: $\hat{z} = 73 \cdot 10^{-6}\ м^2$; $\hat{b} = 4,4 \cdot 10^{-6}\ м^2$; $\hat{h} = 7,7 \cdot 10^{-6}\ м^3$. Дисперсия эксцентриситета e принимается равной $\hat{e} = (0,1 \cdot \rho)^2$, где $\rho = W_{нт} / F_{нт}$ – ядровое расстояние сечения [8]. Дисперсия интенсивности нагрузки q составляет $\hat{q} = (V_q \cdot q)^2$, где $V_q = 0,3$ – коэффициент вариации интенсивности нагрузки [9]. Дисперсия сопротивления древесины R_c равняется $\hat{R}_c = (V_R \cdot R_c)^2$, где $V_R = 0,2$ – коэффициент вариации прочности древесины [9].

Тогда вероятность отказа составного сжато-изгибаемого элемента на МЗП можно определить по формуле [5]:

$$V = 0,5 - 0,5 \cdot \Phi\left(\frac{N_c - N}{\hat{N}_{\Delta}}\right) = 0,5 - 0,5 \cdot \Phi(t), \qquad (26)$$

где $\Phi(t)$ – функция Лампласа.

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx. \qquad (27)$$

Надежность (вероятность неразрушения) определяется из выражения:

$$P = 1 - V. \qquad (28)$$

При определении начальной безотказности (надежности) введем в расчет математические ожидания нагрузки и прочности, оценкой которых могут служить нормативная нагрузка [10] и временное сопротивление сортной древесины $\bar{R}_{вр}$ [9].

Пример: Проверить прочность и определить надежность составной из двух досок $bЧh_1$=44Ч94 мм опорной панели длиной $l = 2,41\ м$ верхнего пояса четырехпанельной треугольной фермы на МЗП пролетом 9 м ($sin\alpha = 0,3557$). Ферма загружена равномерно распределенной нормативной нагрузкой интенсивностью $q^н = 2028$ Н/м. Среднее значение коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,38$. Площадь и момент сопротивления расчетного сечения нетто верхнего пояса составляют $F_{нт} = 82,72 \cdot 10^{-4}$ м^2 и $W_{нт} = 259 \cdot 10^{-6}$ м^3. Ферма изготовлена из древесины сосны 2-го сорта ($R_c = 13$ МПа, $\bar{R}_{вр.} = 31$ МПа).

Расчетная сжимающая сила (1):

$$N = \frac{1,5 \cdot 2028 \cdot 1,38 \cdot 9}{4 \cdot 0,3557} = 26554\ H.$$

Приведенная гибкость [3,4]:

$$l_{пр} = l \cdot m = \frac{2,41}{0,289 \cdot 0,188} \cdot 1,23 = 54,6.$$

Коэффициент ξ (3):

$$x = 1 - \frac{54,6^2}{3000} \cdot \frac{26554}{82,72 \cdot 10^{-4} \cdot 13 \cdot 10^6} = 0,76.$$

Изгибающие моменты в панели верхнего пояса от расчетной нагрузки (с учетом коэффициента надежности по ответственности здания [11]) $q = 2484$ Н/м, перпендикулярной скату:

$$M = 1803\ Н \cdot м;\ M_Д = 2372\ H \cdot м.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Проверка прочности по формуле (2):

$$\frac{26554}{82{,}72\cdot 10^{-4}}+1{,}1\cdot\frac{2372}{259\cdot 10^{-6}}\approx 13\,\text{МПа}=R_{\text{c}}.$$

Прочность обеспечена.

Значения продольной сжимающей силы и изгибающего момента в опорной панели от действия нормативных нагрузок $q^{\text{н}}=2028\,\text{Н/м}$ и $q^{H}=2484/1{,}38=1800\ H/м$: $N^{\text{н}}=19242\,\text{Н}$ и $M^{H}=1302\ H\cdot м$.

Эксцентриситет $e=M^{H}/N^{H}=M/N=0{,}068\ м$.

Величина продольной сжимающей силы N_{c}, воспринимаемой сечением (10):

$$N_{c}=\frac{4\cdot 31\cdot 10^{6}\cdot 0{,}044\cdot 0{,}094^{2}}{0{,}188+8{,}7\cdot 0{,}068}=61838\ H.$$

Значения дисперсий в формуле (25):

$$\hat{q}=(0{,}3\cdot 2028)^{2}=370150\,(\frac{\text{Н}}{\text{м}})^{2};$$

$$\hat{z}=73\cdot 10^{-6}\ \text{м}^{2};$$

$$\hat{R}_{c}=(0{,}2\cdot 31)^{2}=38{,}44\,(\text{МПа})^{2};$$

$$\hat{b}=4{,}4\cdot 10^{-6}\ \text{м}^{2};\ \hat{h}=7{,}7\cdot 10^{-6}\ м^{2};$$

$$\hat{e}=(0{,}1\cdot\frac{259\cdot 10^{-6}}{82{,}72\cdot 10^{-4}})^{2}=9{,}8\cdot 10^{-6}\ \text{м}^{2}.$$

Значения частных производных (16)…(21) составили:

$\Gamma_1=9{,}48\,\text{м}$; $\Gamma_2=2138\,\text{Н/м}$; $\Gamma_3=0{,}002\ м^2$; $\Gamma_4=1{,}4\cdot 10^{6}\ \frac{H}{м}$; $\Gamma_5=1{,}16\cdot 10^{6}\ \frac{H}{м}$; $\Gamma_6=0{,}7\cdot 10^{6}\ \frac{H}{м}$.

Дисперсии (23) и (24) соответственно равны $N_{\Delta N}=33265862$ (Н)^2 и $N_{\Delta N_c}=177547120$ (Н)^2. Значение среднеквадратического отклонения, определенное по формуле (25), составит $\hat{N}_{Д}=14519{,}4\ \text{Н}$.

Тогда вероятность разрушения (отказа) (26) равняется:

$$V=0{,}5-0{,}5\cdot\Phi(\frac{61838-19242}{14519{,}4})=0{,}5-0{,}5\cdot\Phi(2{,}93)=$$

$$=0{,}5-0{,}5\cdot 0{,}9966=0{,}0017\ (0{,}17\,\%).$$

Надежность (вероятность неразрушения) (28) составит:

$$P=1-0{,}0017=0{,}9983\ (99{,}83\,\%).$$

Дисперсия продольной сжимающей силы, воспринимаемой сечением $\hat{N}_{\Delta N_{\text{c}}}=177547120\,(\text{Н})^{2}$, а среднеквадратическое отклонение $\hat{N}_{\Delta N_{\text{c}}}=13324{,}7\,\text{Н}$. В этом случае:

$$K=\frac{61838}{19242}=3{,}2;$$

$$V_{N_{\text{c}}}=\frac{13324{,}7}{61838}=0{,}215;$$

$$t_{S}=\frac{3{,}2-1}{\sqrt{0{,}3^{2}+3{,}2^{2}\cdot 0{,}215^{2}}}=2{,}93.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Вероятность разрушения составит:

$$V = 0,5 - \Phi(2,93) = 0,5 - 0,5 \cdot 0,9966 = 0,0017 \ (0,17\,\%).$$

Для повышения степени надежности составных сжато-изгибаемых элементов любой из серии изготовленных дощатых ферм на МЗП необходимо усовершенствовать весь технологический процесс изготовления и тем самым уменьшить изменчивость характеристик качества, а, следовательно, и значение $\gamma_{\Delta N_c}$. Если это по каким-либо причинам окажется невозможным, то необходимо увеличить размеры поперечного сечения элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отрешко А.И. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции. – М.: Госстройиздат, 1957. – 262 с.
2. Цепаев В.А., Колобов М.В. Расчет сжато-изгибаемых составных элементов дощатых конструкций на податливых связях // Приволжский научный журнал, 2010, № 1. – С. 26-29.
3. Карлсен Г.Г., Большаков В.В., Касан М.Е., Свечинцкой Г.В. Деревянные конструкции. – М., – Л.: Госсройиздат, 1952. – 747 с.
4. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
5. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. – Л. Стройиздат, 1971. – 215 с.
6. Цепаев В.А., Колобов М.В., Торопов А.С. Статистическая оценка распределения прочности составных деревянных балок на МЗП // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов – 2009. Межвузовский сборник научных статей. – Йошкар-Ола, 2009. – С. 95-100.
7. Цепаев В.А., Колобов М.В. Изменчивость геометрических параметров пиломатериалов // Строительные материалы, 2010, № 1 – С. 61-63.
8. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – М.: АСВ, 1998. – 304 с.
9. Знаменский Е.М. О совокупной оценке и нормировании уровня надежности деревянных конструкций по доминирующим факторам // Исследования в области деревянных конструкций: Сб. научн. тр. / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 1985. – С. 12-23.
10. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
11. Цепаев В.А., Колобов М.В. Нормирование уровня надежности соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах по доминирующим факторам // Итоги строительной науки. Материалы V международной научно-технической конференции. – Владимир, 2009. – С. 37-42.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.011
И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор
А.А. Актуганов – аспирант
А.П. Трофимов – магистр
E-mail: kuz377@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается новое конструктивное решение металлодеревянной двутавровой балки, включающей пояса из древесины, соединенные тонколистовой стальной стенкой с поперечными гофрами. Приводятся конструктивные параметры опытного образца балки и результаты экспериментальных исследований, а также сравнительная оценка уровня напряжений и прогибов с данными теоретических расчетов, выполненных по различным вариантам расчетных схем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлодеревянная двутавровая балка, тонколистовая стальная стенка, экспериментальные исследования, сравнительные оценки.

I.L. Kuznetsov – doctor of technical sciences, professor
A.A. Aktuganov – post-graduate student
A.P. Trofimov – magistrate
Kazan State University of Architecture and Engineering

DESIGNING AND RESEARCH OF A COMPOSITE STEEL AND WOOD (FLITCHED) I-BEAM

ABSTRACT

The paper deals with a new structural solution of a composite steel and wood (flitched) I-beam that consists of two wooden chords joined by the light-gauge steel web plate with buckles. The design data of a prototype model of the I-beam and results of experimental research and the assessment comparing stress and deflection level with theoretical calculation data obtained from the different analytical models are given.

KEYWORDS: composite steel and wood (flitched) I-beam, light-gauge steel web plate, experimental research, comparative assessment.

В современной практике строительства наибольшее применение нашли дощатоклееные балки пролетом 6-24 м. Несмотря на высокую технологичность указанных балок, их применение сдерживается значительным расходом древесины. Поэтому в целях уменьшения расхода материала применяются двутавровые балки, в которых пояса выполняются из цельной или клееной древесины, а стенка – из плоской или волнистой фанеры [1]. В настоящей статье рассматривается новая конструкция двутавровой балки, включающая пояса из древесины и стенку из тонколистовой оцинкованной стали (рис. 1).

Для обеспечения устойчивости тонколистовой стенки на ней выполняются вертикальные полуцилиндрические гофры с поочередной ориентацией влево и вправо относительно ее плоскости. Для крепления стенки балки к поясам в последних выполнены продольные пропилы и цилиндрические углубления, в которые устанавливаются продольные кромки стенки и заполняются эпоксидным клеем.

Учитывая, что предлагаемая конструкция металлодеревянной балки является новой [4] и для нее отсутствует методика расчета, а тем более – данные о фактической ее работе, было решено провести как теоретические, так и экспериментальные исследования по установлению ее действительной работы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

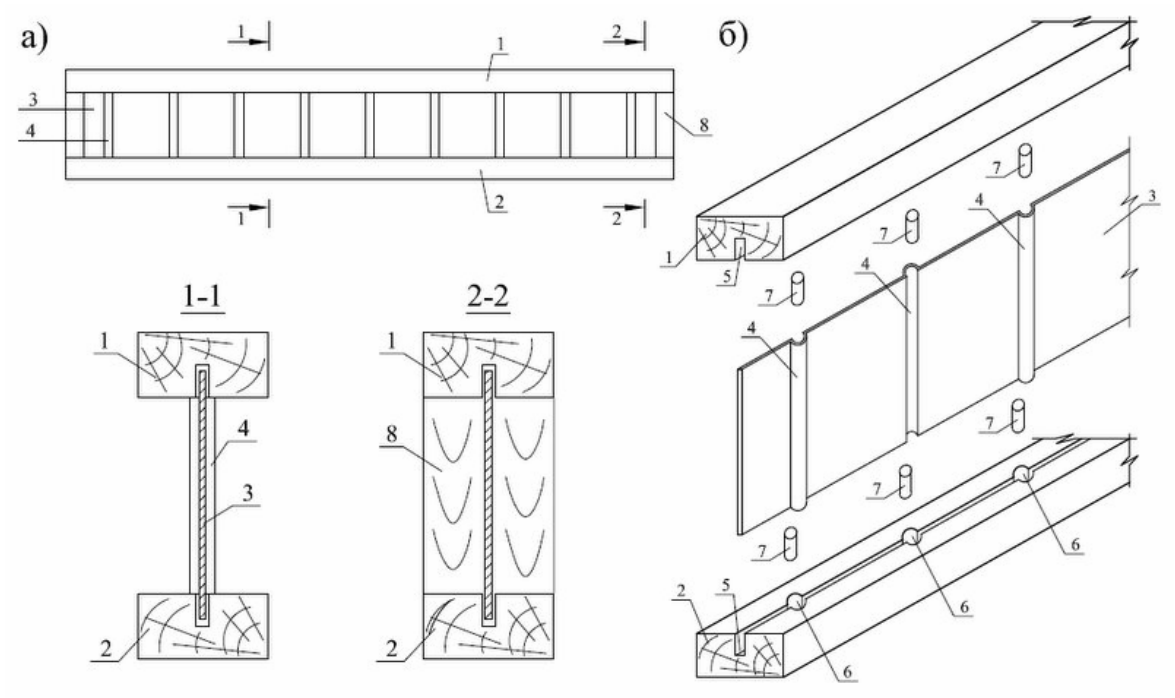


Рис. 1. Конструкция металлодеревянной двутавровой балки: а – общий вид и разрезы; б – аксонометрия фрагмента балки в процессе сборки; 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стальная стенка; 4 – гофры полуцилиндрической формы; 5 – продольный пропил; 6 – углубления цилиндрической формы; 7 – цилиндрические нагели; 8 – опорные ребра

Рис. 2. Опытный образец балки в процессе испытания

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для проведения теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) был изготовлен опытный образец балки (рис. 2). Этот образец изготовлен пролетом 2,4 м с габаритной высотой 265 мм. Пояса балки выполнены из сосны 2-го сорта поперечным сечением 197Ч50 мм. Стенка балки изготовлена из оцинкованной стали шириной 210 мм и толщиной 0,63 мм. На стенке балки выполнены гофры, разделяющие ее на 10 отсеков. Гофры полуцилиндрической формы диаметром 30 мм, шаг которых у опор 120 мм, а в середине – 320 мм. Пояса имеют продольный пропил шириной 3 мм, глубиной 23 мм и цилиндрические углубления диаметром 32 мм. Плоские участки стенки размещены в продольных пропилах поясов, а торцы гофров – в цилиндрических углублениях и зафиксированы нагелями диаметром 30 мм, выполненными из березы. Стенка балки и пояса в пропилах и углублениях соединены эпоксидным клеем. В опорных зонах балки по обе стороны стенки установлены вертикальные ребра из сосны сечением 50Ч50 мм.

Теоретическое определение НДС экспериментальной балки выполнялось по двум расчетным схемам.

Первая расчетная схема (РС1) представляла собой ферму, пояса которой повторяют пояса балки, а решетка включала стойки и нисходящие раскосы, работающие на растяжение. Сечение стоек включало гофру и части стенки по обе стороны от него шириной по $0{,}65t\sqrt{E/R_y}$ [2]. Площадь растянутых раскосов принималась вариантно: как из условия равенства угла сдвига стенки отсека и решетчатого аналога, так и по методике балок с гибкой стенкой [3].

Вторая расчетная схема (РС2) балки (рис. 3) представляла собой конечно-элементную модель. Построение модели велось в трехмерном пространстве oXYZ в масштабе 1:1. Для моделирования стальной стенки использовались плоские четырехузловые прямоугольные конечные элементы (КЭ-41). Для моделирования поясов и опорных рёбер из дерева использовались объёмные конечные элементы (КЭ-31). В местах наличия вертикальных гофров сетка конечных элементов сгущалась. Расчет выполнялся в программном комплексе ЛИРА 9.4.

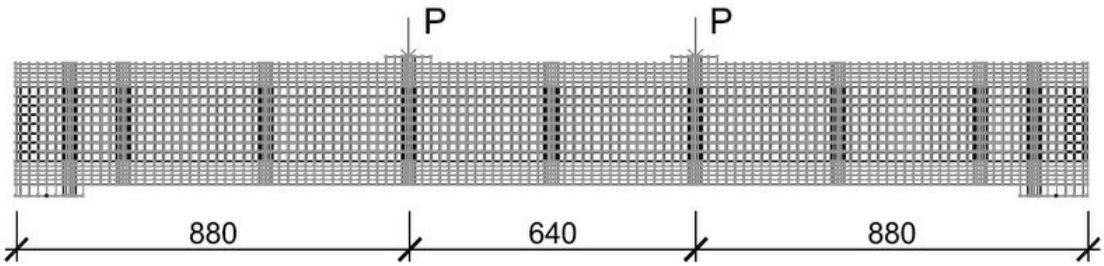


Рис. 3. Конечно-элементная модель балки

Испытания балки проводились на специальной рычажной установке (рис. 2). Балка укладывалась на шарнирные опоры, а загружение осуществлялось мерным грузом, прикладываемым к рычагу с соотношением плеч 1:6. Нагрузка на балку прикладывалась через траверсу в двух точках интенсивностью P симметрично относительно середины балки (рис. 2, 3). Напряжения в поясах балки определялись по показаниям тензодатчиков, наклеенных в середине пролета и подключенных к измерителю деформаций АИД-4. Прогиб балки определялся в середине балки прогибомером дистанционного типа. Для определения относительного сдвига поясов и стенки балки в двух крайних отсеках были установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытания балки и теоретических расчетов приведены в виде графиков (рис. 4-7).

При загружении балки нагрузкой P=500 кг ее фактическая работа полностью соответствовала теоретическим расчетам (рис. 4-7). Однако, при увеличении испытательной нагрузки интенсивность нарастания прогиба балки значительно увеличилась: вначале третьего, а затем – и четвертого отсеков стенки балки. Объяснением этому является выпучивание стенки, которое происходило в угловых зонах, расположенных вверху и внизу от нисходящих диагоналей отсеков стенки.

При нагрузке P=800 кг пояса балки продолжали работать в упругой стадии, а в зонах потери местной устойчивости стенки балки происходило увеличение изгиба, при этом зона отсеков стенки по направлению нисходящих диагоналей шириной 40ч60 мм оставалась прямолинейной. Прогиб балки при нагрузке 800 кг составил 1/150 пролета.

При снятии нагрузки остаточный прогиб балки составил 23 % от полного, при этом стенка балки возвратилась в первоначальное положение.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Максимальная величина сдвига стенки относительно поясов балки при нагрузке P=800 кг составила 1,8 мм, а при снятии нагрузки эта величина осталась равной 0,1 мм.

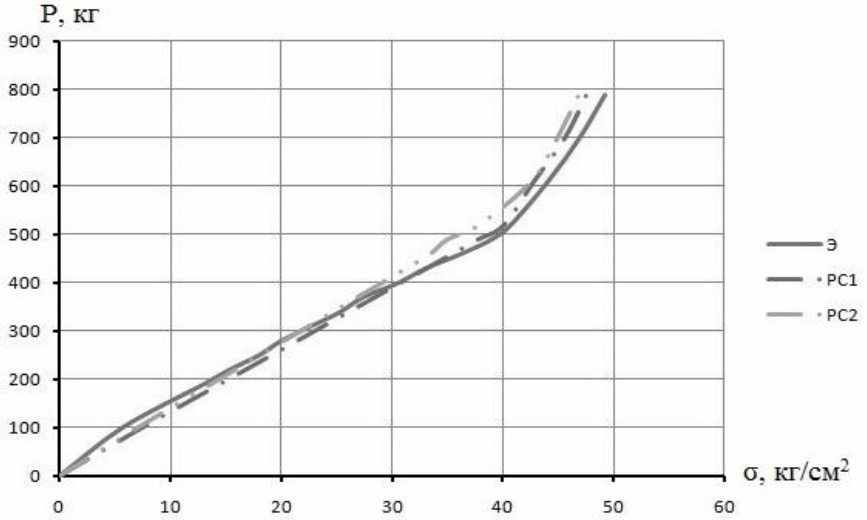


Рис. 4. Значения средних напряжений в нижнем поясе балки: Э – экспериментальное значение; РС1 – значение по первой расчетной схеме; РС2 – значение по второй расчетной схеме

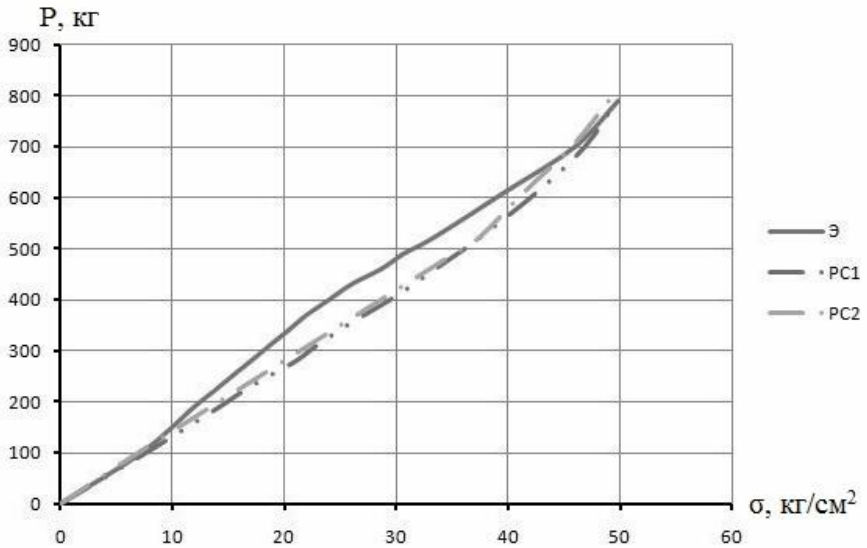
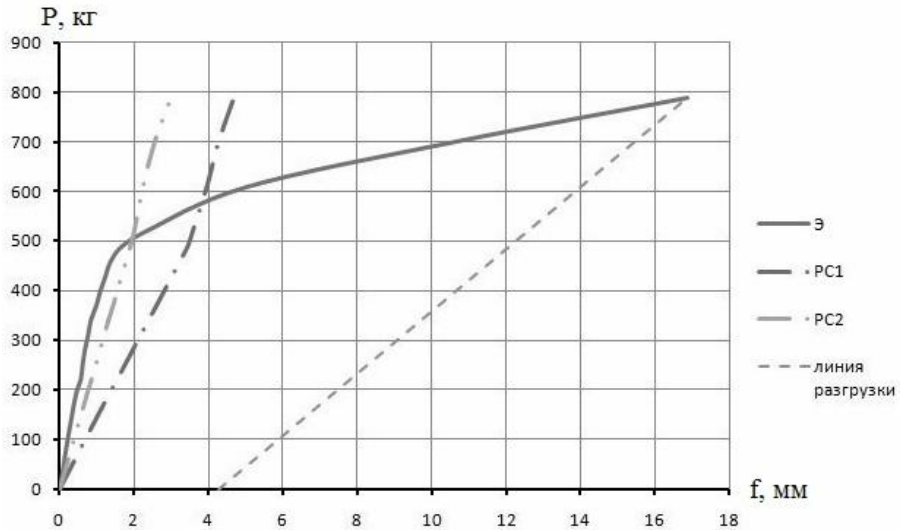


Рис. 5. Значения средних напряжений в верхнем поясе балки



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 6. Значения прогиба балки

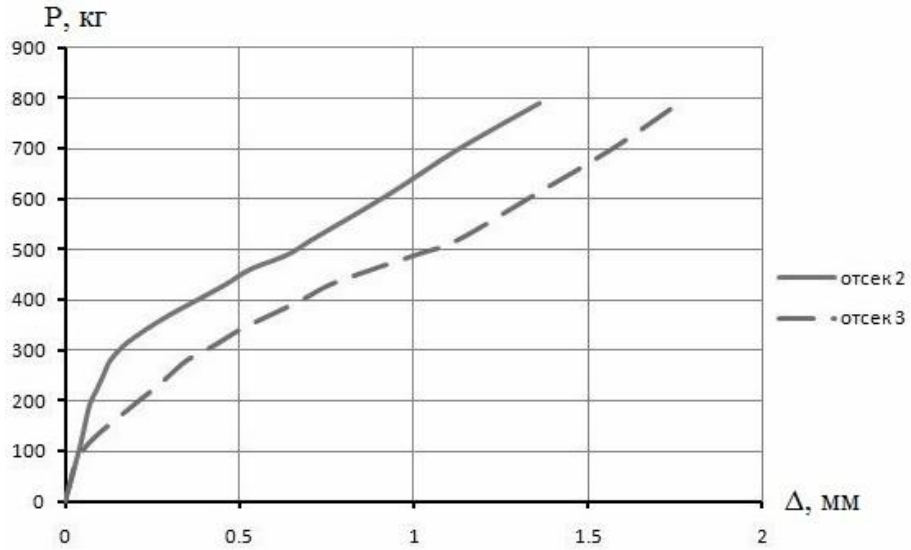


Рис. 7. Значение относительного сдвига поясов и стенки

Выводы

1. Результаты изготовления опытного образца балки, расчетов и экспериментальных исследований показали высокую технологичность изготовления конструкции, предсказуемость ее фактической работы данным теоретических расчетов.
2. Исследованием установлено, что стенка балки в пределах каждого отсека не включается в совместную работу с поясами, при этом восприятие перерезывающей силы происходит по типу решетчатой конструкции, т.е. с образованием частью стенки в зонах гофр стоек, работающих на сжатие, и нисходящих раскосов, работающих на растяжение.
3. Принятое в балке силовое крепление стенки при помощи гофр и цилиндрических нагелей, как показали расчеты и экспериментальные исследования, достаточно эффективно и обеспечивает восприятие сдвигающих усилий.
4. Экспериментальные исследования показывают, что предельное состояние испытанной балки определяется ее прогибами и сдвигами нагельных соединений.
5. Практическая реализация металлодеревянной балки требует дальнейших исследований по уточнению расчетной схемы в части учета действительной работы ее гибкой стальной стенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас деревянных конструкций / К.-Г Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер, пер. с нем. Н.И. Александровой, под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с., ил. – Перевод изд.: Holzabu Atlas / K-H Gцtz, D. Hoor, K. Mцhjer, J. Natterer. – Munchen, 1978.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
3. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* “Стальные конструкции”). ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП, 1989. – С. 88-90.
4. Кузнецов И.Л., Актуганов А.А., Трофимов А.П. Металлодеревянная двутавровая балка. Патент РФ № 2382855. МПК E04C 3/29. “Бюллютень” № 6 от 27.02.2010.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.072
И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор
А.Э. Фахрутдинов – аспирант
E-mail: kuz377@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АРОЧНЫЕ ЗДАНИЯ ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается новое конструктивное решение арочного здания, включающего арки, собираемые из унифицированных элементов, прогоны и ограждение. Приводятся конструктивное решение узла соединения унифицированных элементов, принцип монтажа арочного здания изменяемого пролета и очертания, мероприятия по снижению материалоемкости конструкций здания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: арочное здание, унифицированные элементы, конструктивное решение, принцип монтажа, снижение материалоемкости.

I.L. Kuznetsov – doctor of technical sciences, professor
A.E. Fakhrutdinov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering

ARCH BUILDINGS MADE FROM UNIFIED ELEMENTS

ABSTRACT

The paper deals with a new structural solution of an arch building that consists of arches assembled from unified elements, purlins and filler structure. The structural solution of connection of the unified elements, installation principle of arch building with changeable span and outline, arrangements for weight decreasing of building structures are given.

KEYWORDS: arch building, unified elements, structural solution, installation principle, weight decreasing.

Обычный подход к проектированию и строительству легких зданий состоит в назначении фиксированного пролета, габаритной высоты и рациональной конструктивной схемы. Такой подход, естественно, приводит к большому числу вариантов зданий, что затрудняет их реализацию по технико-экономическим критериям. Вместе с тем, известен и другой подход к практической реализации указанного многообразия конструктивных вариантов зданий, использующий при этом минимальное число конструктивных элементов [1]. В частности, в данном подходе рассматривается арочное здание, включающее арки, собираемые из унифицированных элементов, прогоны и ограждение. Отличительной особенностью унифицированных элементов является то, что благодаря специальной конструкции узлов их жесткое соединение между собой может осуществляться под произвольным углом. Следовательно, изменяя число унифицированных элементов и соединяя их под различными углами, представляется возможность возводить арки произвольного пролета и очертания.

В настоящей статье рассматривается дальнейшее развитие указанного подхода – новое конструктивное решение легкого арочного здания из унифицированных элементов. В предлагаемом решении арки выполняются из унифицированных элементов из тонкостенных прямолинейных стержней с промежуточными узловыми фасонками, соединенными с концами тонкостенных стержней (рис. 1). В узлах соединения элементов по аркам устанавливаются прогоны, по которым путем принудительного изгиба укладывается плоский профилированный стальной настил. Основная идея предлагаемой конструкции состоит в следующем. Назначается требуемый пролет арки и пределы изменения стрелы ее подъема, исходя из которых определяется количество унифицированных элементов. Унифицированные элементы в горизонтальном положении соединяются между собой при помощи узловых фасонок путем установки центральных болтов с образованием шарнирной цепи. Далее путем поворота элементов вокруг центрального болта арке

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

придается требуемое очертание, в том числе может быть реализовано и оптимальное [2]. С достаточной точностью оптимальное очертание арки может быть реализовано, если ординаты узлов арки (y_i) определены по формуле [2]:

$$y_i = \frac{M^0_{лев,i} + M^0_{прав,i}}{2 \cdot H}, \qquad (1)$$

где $M^0_{лев,\,i}$, $M^0_{прав,\,i}$ – балочный момент в левой и правой части пролета арки в одном и том же сечении от постоянной и несимметричной снеговой нагрузок; H – распор арки.

После придания арке окончательного очертания концы однотипных элементов жестко прикрепляют к узловым элементам путем установки самосверлящихся болтов, размещаемых вокруг центральных болтов. Собранная арка устанавливается в вертикальное положение и соединяется с соседними прогонами и связями. По прогонам путем принудительного изгиба укладывается профилированный стальной настил. Шаг установки арок при этом определяется несущей способностью унифицированного элемента при заданном пролете и очертании арки.

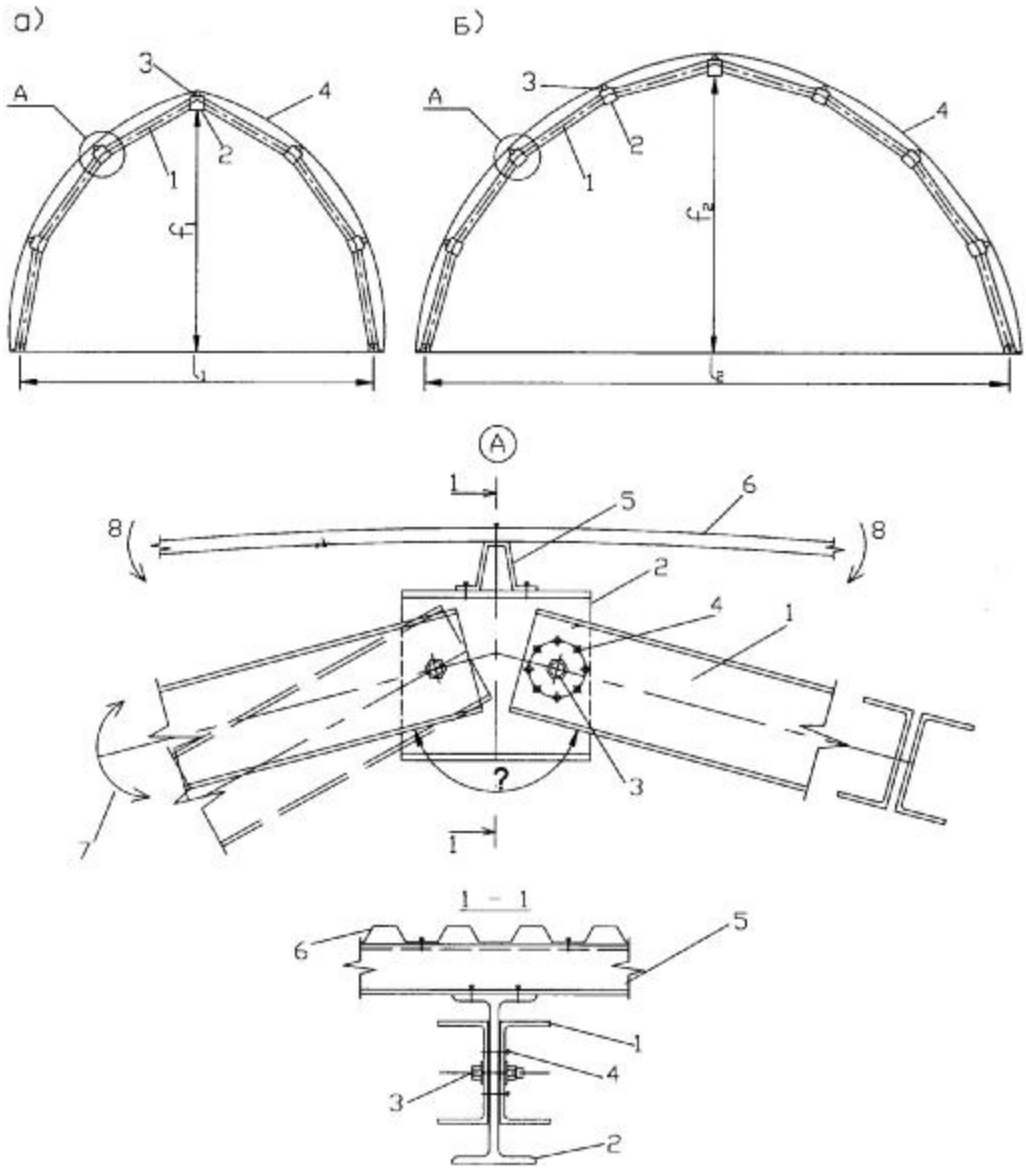


Рис. 1. Общее конструктивное решение и узлы арочных зданий из унифицированных элементов: а) арка из шести элементов пролетом l_1 и стрелой подъема f_1; б) арка из восьми элементов пролетом l_2 и стрелой подъема f_2; 1 – унифицированный элемент из парных швеллеров; 2 – узловая фасонка; 3 – центральный болт; 4 – самосверлящийся болт; 5 – прогон; 6 – профилированный настил; 7 – направление поворота элемента при установке рационального очертания оси арки; 8 – направление принудительного изгиба ограждения из профилированного настила

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица

Технико-экономические показатели двух вариантов арочных зданий из одного типа унифицированных элементов

№ п/п	1		2	
Пролет арки, м	9		12	
Число унифицированных элементов арки	6		8	
Сечение унифицированного элемента (швеллер) по ГОСТ 8278-83*	][160x40x3		][160x40x3	
Марка профилированного настила по ГОСТ 24045-94	НС 35-1000-0,6		НС 35-1000-0,6	
Очертание оси арки	Круговое	Оптимальное (одна итерация)	Круговое	Оптимальное (одна итерация)
Шаг арок, м: Без учета включения в работу профлиста	3	3,7	1,85	2,1
Шаг арок, м: С учетом включения в работу профлиста	3,8	4,5	2,2	2,4
Сечение прогонов (швеллер) по ГОСТ 8278-83*: Без учета включения в работу профлиста, По разрезной схеме	[160x40x3	[180x40x3	[80x40x3	[100x40x3
Сечение прогонов (швеллер) по ГОСТ 8278-83*: Без учета включения в работу профлиста, По неразрезной схеме с нахлестом на опорах	[70x40x3	[100x40x3	[45x25x3	[40x40x3
Сечение прогонов (швеллер) по ГОСТ 8278-83*: С учетом включения в работу профлиста, По разрезной схеме	[200x50x3	[250x35x3	[100x40x3	[100x50x3
Сечение прогонов (швеллер) по ГОСТ 8278-83*: С учетом включения в работу профлиста, По неразрезной схеме с нахлестом на опорах	[100x40x3	[140x40x3	[60x30x3	[50x40x3
Расход стали на каркас, кг на м²/ м³: Без учета включения в работу профлиста, По разрезной схеме	10,3 / 2,92	9,2 / 2,6	12,55 / 2,66	11,8 / 2,51
Расход стали на каркас, кг на м²/ м³: Без учета включения в работу профлиста, По неразрезной схеме с нахлестом на опорах	9,87 / 2,79	9,03 / 2,56	12,41 / 2,63	11,61 / 2,46
Расход стали на каркас, кг на м²/ м³: С учетом включения в работу профлиста, По разрезной схеме	9,56 / 2,71	8,92 / 2,52	11,4 / 2,42	10,9 / 2,32
Расход стали на каркас, кг на м²/ м³: С учетом включения в работу профлиста, По неразрезной схеме с нахлестом на опорах	8,88 / 2,51	8,71 / 2,46	10,88 / 2,31	10,3 / 2,18

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

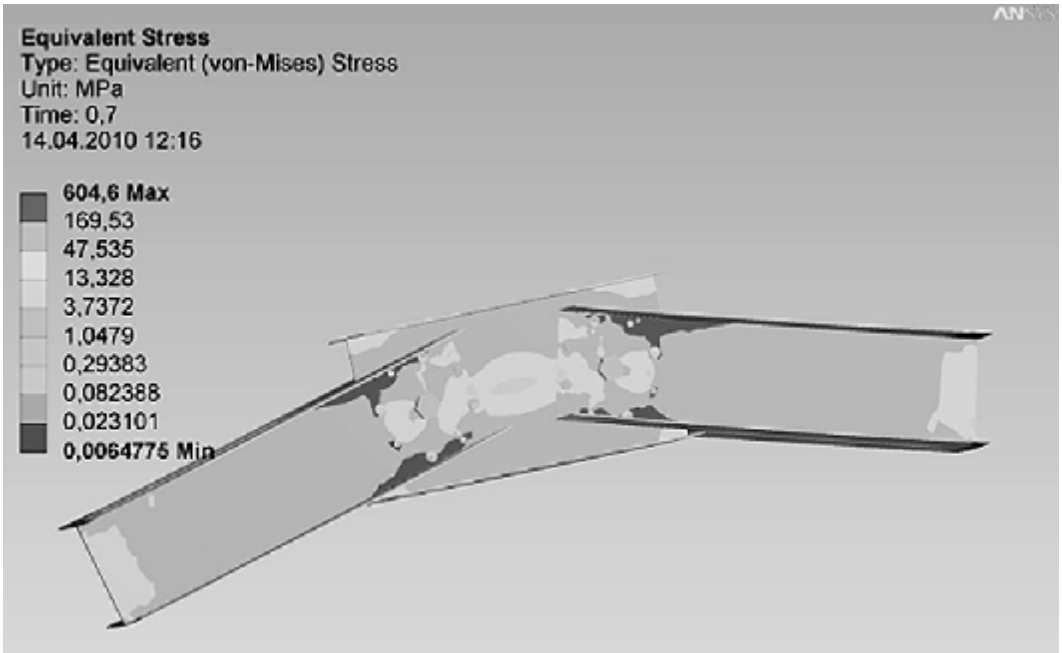


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние узлового соединения

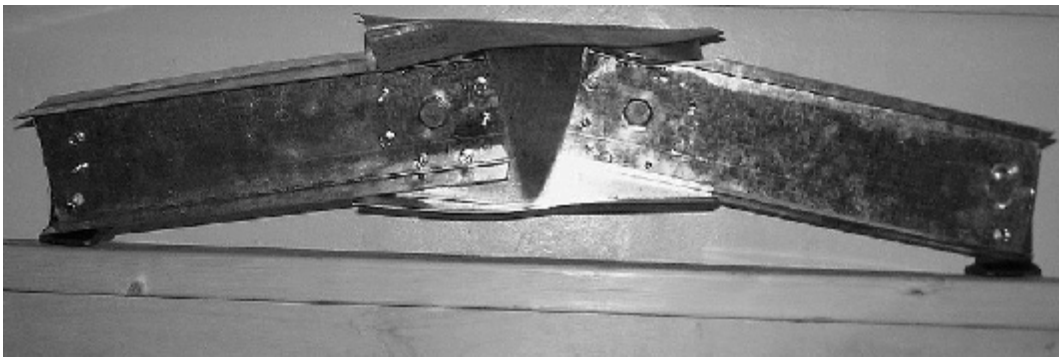


Рис. 3. Характер разрушения узлового соединения

Таким образом, реализация предлагаемого конструктивного решения арочного здания и способа его возведения позволяет:

- обеспечить возведение арок произвольного пролета и очертания, изменяя при этом число элементов арки и шаг их установки;
- снизить трудоемкость изготовления арок за счет применения унифицированных элементов.

Рассмотрим пример практической реализации предложенной конструкции арочного здания и исследуем при этом возможности снижения расхода стали. Необходимо из одного типа унифицированных элементов длиной 2 м реализовать, например, два типа здания пролетом 9 и 12 м (табл.). Арки двухшарнирные со стрелой подъема 4,5 м и 6м соответственно. Назначение длины унифицированного элемента в общем случае является самостоятельной технико-экономической задачей исследования и в данной статье не рассматривается.

Конструкции здания эксплуатируются в IV снеговом и III ветровом районах, собственная масса конструкций принималась равной 20 кг/мI. Характер приложения нагрузок принимается согласно нормам [3]. Усилия в конструктивных элементах арочного здания определялись расчетом в ПК «ЛИРА 9.4». Рассматривались различные варианты расчетных схем. В частности, двухшарнирные арки кругового и оптимального очертания, которое задавалось согласно (1) уравнениями:

$$y = 0.0404xi - 0.5983xI + 2.8752x$$ – для пролета 9 м;

$$y = 0.0227xi - 0.4488xI + 2.8753x$$ – для пролета 12 м.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Исследовались варианты с разрезными и неразрезными прогонами, а также с учетом включения ограждения из профилированного настила в совместную работу арок. Окончательные результаты расчетов и проектирования приведены в таблице.

Анализируя данные таблицы, можно сделать следующие выводы:

1) реализация предлагаемого здания позволяет, используя один тип унифицированных элементов и меняя их количество и шаг установки арок, реализовать здания различного пролета и очертания;

2) кроме указанных по п. 1 возможностей, достигается уменьшение расхода стали на каркас здания путем придания аркам оптимального очертания (на 11 %), включения ограждения в совместную работу с арками (на 10 %) и использования неразрезной схемы прогона (на 7 %).

Конструкция узла соединения унифицированных элементов арки (рис. 1, узел А) в рассматриваемых примерах включает центральный болт диаметром 16 мм и самосверлящиеся болты диаметром 6.3 мм. Проведенные расчеты узлов в ПК «ANSYS 11.0» (рис. 2) и испытания их фрагментов (рис. 3) показали достаточную прочность данного узла и выявили резервы несущей способности, что при дальнейшем исследовании этого вопроса приведет к существенному уменьшению стоимости узла.

Проведенные исследования предлагаемой конструкции арочных зданий и способов их реализации показали техническую возможность и экономическую целесообразность возведения арочных зданий различного пролета и очертания из одного типа унифицированных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов И.Л., Пеньковцев С.А. Несущие стальные конструкции инвентарных зданий из унифицированных элементов // Строительство и архитектура. Сер. 8. Строительные конструкции. Экспресс-информация. – М.: ВНИИНТПИ, 1989. – С. 2-5.
2. Кузнецов И.Л. Расчет и конструирование легких арок. – Казань: КазГАСА, 1998. – 144 с.
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М., 1988. – 36 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 666.973.2
С.Ю. Лихачева – кандидат физико-математических наук, доцент
М.А. Лебедев – аспирант
E-mail: alomir@mail.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

НОРМИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАДКИ ИЗ ОПИЛКОБЕТОННЫХ КИРПИЧЕЙ*

АННОТАЦИЯ
Предложен подход к нормированию деформационно-прочностных свойств кладки из опилкобетонных кирпичей. Установлены численные значения расчётного сопротивления кладки сжатию, ее упругой характеристики и начального модуля деформаций.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опилкобетонные кирпичи, кладка, нормирование, упругая характеристика, начальный модуль деформаций.

S.Yu. Likhacheva – candidate of physical-mathematical sciences, senior lecturer
M.A. Lebedev – post-graduate student
Nizhny Novgorod University of Architecture and Civil Engineering

RATIONING TECHNIQUE OF A DEFORMATION AND DURABILITY PROPERTIES OF A CHIPS-CONCRETE BRICK LAYING

ABSTRACT
The rationing technique of deformation and durability properties of laying from chips-concrete bricks is offered. Numerical values of settlement resistance of laying to compression, the elastic characteristic of laying and the initial module of deformation are established.
KEYWORDS: chips-concrete bricks, laying, rationing, elastic characteristic of laying, initial module of deformation.

Как и любая конструкция, здания из опилкобетона в пределах установленного срока службы должны обладать надлежащей надёжностью, которая обеспечивается при проектировании, возведении и эксплуатации. Согласно действующим нормам проектирования [1], расчёт строительных конструкций выполняется на основе метода предельных состояний. Предполагается, что при действии эксплуатационных нагрузок кладка стеновых конструкций работает при напряжениях, не превышающих предела конструктивной прочности, значения которого необходимо установить и нормировать для изучаемой кладки. Также необходимо определить закономерности зависимости между начальным модулем деформаций и расчетным сопротивлением кладки сжатию.

В результате ранее выполненного авторами вероятностного анализа опытных данных испытаний образцов кладки из опилкобетонных кирпичей доказана гипотеза о нормальном распределении предела прочности кладки при сжатии [2].

После построения границ доверительного интервала для математического ожидания и теоретической дисперсии предела прочности кладки при сжатии в работе [2] было получено выборочное значение коэффициента вариации V_R, используемого при нормировании значений расчётного сопротивления кладки сжатию. Так как границы доверительного интервала для математического ожидания изменялись от 0,154 до 0,21, то для выполнения расчетов можно принять с округлением $\overline{V}_R = 0{,}2$.

Для расчетной оценки предела прочности кладки из опилкобетонных кирпичей может быть использована физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии [3]. Согласно этой модели предел прочности кладки при сжатии может быть определен из выражения

*Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, финансируемой за счет средств федерального бюджета, выделяемых по направлению расходов «НИОКР», мероприятию 1.3 «Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$R_u^T = k_1 \cdot R_t + k_2 \cdot R_{sq}, \quad (1)$$

где:

$$k_1 = \frac{A_t}{A - A_{ef}}, \; k_2 = \frac{A_{sq}}{A - A_{ef}}, \quad (2)$$

где:
A – площадь поперечного сечения элемента; A_t, A_{sq}, A_{ef} – площади отрыва, сдвига и сжатия; R_t и R_{sq} – предельные сопротивления материала растяжению и сдвигу.

Условное нормативное сопротивление кладки сжатию определяется с обеспеченностью 0,98 согласно пособию [4] по формуле:

$$R_{Un} = R_U \cdot (1 - t_R \cdot V_R) = 0,6 R_U, \quad (3)$$

где: t_R = 2,0 – коэффициент обеспеченности для доверительной вероятности 98 % при нормальном законе распределения предела прочности кладки; V_R = 0,2 – выборочный коэффициент вариации предела прочности кладки при сжатии, а R_u может определяться как R_u^T по формуле (1), хотя авторами были рассмотрены и другие подходы к определению предела прочности кладки [2].

Расчётное сопротивление кладки сжатию при расчёте каменных конструкций по предельному состоянию первой группы предлагается определять по формуле:

$$R = \frac{R_{Un}}{k_в} \cdot h(t) = 0,28 R_U, \quad (4)$$

где: $k_в = 1,2 \cdot 1,15 \cong 1,4$ – коэффициент безопасности по кладке при сжатии, определяемый с использованием коэффициента 1,2, учитывающего возможное снижение прочности кладки и коэффициента 1,15, учитывающего второстепенные факторы (ослабление кладки пустошовкой, гнёздами, небольшие отклонения стен и столбов от вертикали и т.п.); $h(t) = 0,65$ – коэффициент длительного сопротивления кладки, установленный в работе [2].

Численные значения расчётного сопротивления кладки из опилкобетона приведены в табл. 1.

Начальный модуль деформаций E_0 кладки связан с пределом прочности при сжатии R_U зависимостью:

$$E_0 = a \cdot R_U. \quad (5)$$

Зависимость (5) имеет исключительно большое значение при расчёте элементов каменных конструкций на продольный и продольно-поперечный изгиб. Между тем, для кладки из опилкобетонных кирпичей отсутствовала статистически достоверная связь $E_0(R_U)$.

Таблица 1

Численные значения расчётного сопротивления опилкобетонной кладки

Марка кирпича	Расчётные сопротивления сжатию, МПа					
	при марке раствора, кгс/см^2				при прочности раствора, МПа	
	50	25	10	4	0,2	0
50	0,79	0,67	0,53	0,43	0,39	0,26
35	–	0,54	0,43	0,34	0,3	0,19
25	–	0,44	0,35	0,28	0,24	0,15
15	–	–	0,25	0,2	0,17	0,09

На основе данных испытаний на центральное сжатие 6 серий опилкобетонных столбов была получена экспериментальная зависимость начального модуля деформаций от предела прочности кладки. С использованием этих данных проведён корреляционный и регрессивный анализ

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

механических свойств кладки. Основные числовые характеристики эмпирического распределения предела прочности и начального модуля деформаций кладки (выборочные средние значения $\overline{R}_U = \overline{y}_i$ и $\overline{E}_0 = \overline{x}_i$, выборочные дисперсии S_{yi}^2 и S_{xi}^2, коэффициенты вариации V_R и V_E) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные статистические характеристики

Серия	Число образцов в серии n_i, шт.	Числовые характеристики эмпирического распределения					
		$\overline{R}_U = \overline{y}_i$, МПа	$\overline{E}_0 = \overline{x}_i$, МПа	S_{yi}^2, (МПа)^2	S_{xi}^2, (МПа)^2	V_R, %	V_E, %
С-1	4	0,86	429	0,0027	449	6,04	4,94
С-2	4	0,9	634	0,0151	3091	13,7	8,77
С-3	4	1,36	722	0,00423	8263	4,78	12,59
С-4	4	1,76	1117	0,0154	13398	7,05	10,36
С-5	4	1,84	1190	0,0353	28713	10,21	14,24
С-6	4	2,07	1520	0,0173	57800	6,35	5,0

При ограниченном объёме выборки (n<100) распределение коэффициента корреляции существенно отличается от нормального закона [5]. Использование преобразования Фишера, построение границ доверительного интервала для генерального коэффициента корреляции и методики парного регрессивного анализа позволили установить, что между начальным модулем деформаций и пределом прочности кладки при сжатии существует тесная корреляционная связь.

Проведенными исследованиями установлено уравнение регрессии в следующем виде:

$$E_0 = 777 R_U - 203. \qquad (6)$$

На рис. 1 представлен график полученной зависимости. Как видно, результаты испытаний образцов кладки двух выборочных серий с достаточной закономерностью укладываются на эмпирическую линию регрессии.

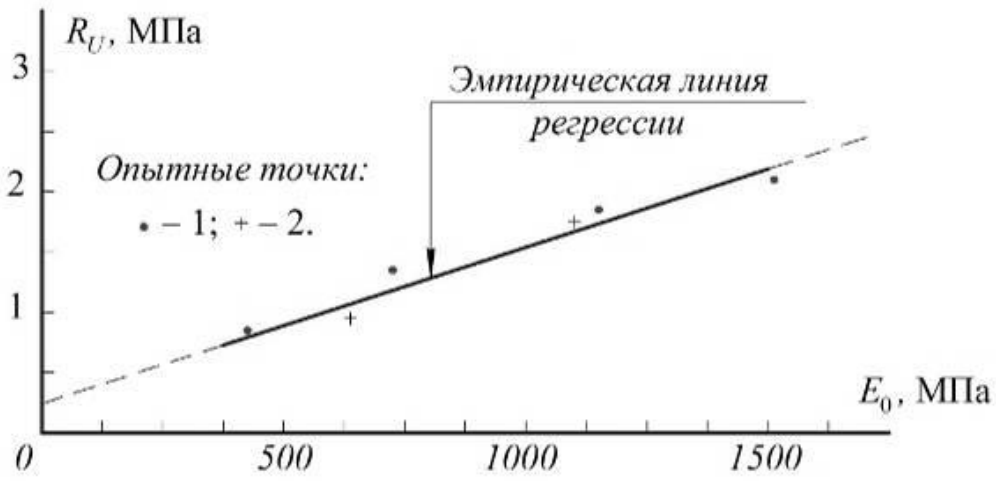


Рис. 1. Эмпирическая линия регрессии: 1 – образцы кладки размером 250x250x688 мм; 2 – образцы кладки размером 250x380x788 мм

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Использование F-критерия Фишера позволило установить, что линия регрессии (6) значима, а это означает, что математическая модель хорошо согласуется с экспериментальными данными.

С учётом зависимости (5) из уравнения регрессии (6) получим выражение для определения упругой характеристики кладки:

$$a = 777 - \frac{203}{R_U}. \qquad (7)$$

Значения упругой характеристики и начального модуля деформаций кладки для разных соотношений кирпичей и растворов приведены соответственно в табл. 3 и табл. 4.

Таблица 3

Значения упругой характеристики кладки для разных марок кирпичей и растворов

Марка кирпича	Упругая характеристика a					
	при марке раствора, кгс/см^2				при прочности раствора, МПа	
	50	25	10	4	0,2	0
50	700	690	670	650	630	560
35	–	670	640	610	590	480
25	–	650	610	570	540	390
15	–	–	550	490	440	160

Таблица 4

Значения начального модуля деформаций кладки для разных марок кирпичей и растворов

Марка кирпича	Начальный модуль деформаций E_0, МПа					
	при марке раствора, кгс/см^2				при прочности раствора, МПа	
	50	25	10	4	0,2	0
50	1970	1650	1260	1000	886	525
35	–	1290	975	745	643	334
25	–	1010	760	560	460	203
15	–	–	495	350	264	53

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Разрабатываемая на основе полученных закономерностей методика нормирования деформационных и прочностных свойств кладки из опилкобетонных кирпичей позволит повысить надежность конструкций зданий, расширить возможности использования таких кирпичей в малоэтажном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции // Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.
2. Отчет по НИР. Инв. № 01.20.0806638. Цепаев В.А., Лебедев М.А., Торопов А.С. Исследование прочности и деформативности кирпичной кладки из опилкобетона.
3. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии // Изв. вузов. Строительство, 2002, № 9. – С. 4-9.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 152 с.
5. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624(075.8)
И.Ю. Майстренко – кандидат технических наук, старший преподаватель
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
E-mal: igor_maystr@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

АННОТАЦИЯ

Представлены алгоритмы получения количественной оценки показателей надежности конструктивной системы, основанные на использовании структурных и статистических методов, методов имитационного моделирования и регрессионного анализа. Основные процедуры моделирования процесса изменения во времени уровня надежности рассмотрены на примере главной балки пролетного строения автодорожного моста. Представлен фрагмент имитационного эксперимента, характеризующий области изменения критических значений вероятности отказа системы, ограниченные кусочно-нелинейными функциями регрессии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование, надежность, мост, имитация, статистический, структурный, система.

I.Yu. Maystrenko – candidate of technical sciences, senior lecturer
A.Z. Manapov – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

SIMULATION OF PROCESS OF CHANGE IN TIME OF RELIABILITY LEVEL OF CONSTRUCTIVE SYSTEM

ABSTRACT

Algorithms of reception of a quantitative estimation of indicators of reliability of the constructive system, based on use of structural and statistical methods, methods of imitating simulation and regression analysis are presented. The basic procedures of simulation of process of change in time of level of reliability are considered on an example of the main beam of a flying structure of the road bridge. The fragment of imitating experiment characterizing areas of change of critical values of probability of refusal of system, the regresses limited to part-nonlinear functions is presented.

KEYWORDS: simulation, reliability, bridge, imitation, simulation, statistical, structural, system.

Уровень надежности конструктивной системы выбирается, как правило, на стадии концепции и формирования требований к продукции. Необходимость количественной оценки показателей надежности конструктивной системы возникает как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации. В первом случае решение задачи сводится к определению проектного ресурса; во втором – к оценке остаточного ресурса.

Для получения количественных оценок процесса изменения за время эксплуатации уровня надежности конструктивной системы потребуется выполнение пяти основных процедур. Первая состоит в определении конфигурации структурной схемы надежности технического объекта. Вторая процедура заключается в определении мест переходов между стадиями жизненного цикла конструктивной системы. Третья процедура предусматривает анализ использованных при проектировании методов расчета и определение уровня надежности конструктивной системы по стадиям жизненного цикла. Четвертая процедура предполагает выполнение имитационного моделирования процесса изменения определяющего показателя надежности, например, вероятности отказа. Пятая процедура состоит в регрессионном и статистическом анализе полученных моделей.

Рассмотрим процедуры оценки допустимого уровня отказов на примере главной балки 42-метрового пролетного строения автодорожного моста. Тип исполнения стального пролетного строения – северное «Б» [1].

Первая процедура. Для определения взаимосвязей между конструктивными элементами и

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

деталями внутри конструктивной системы и между конструктивной системой и внешней средой проводится ее идентификация. Эта процедура основывается на использовании структурных методов [2], которые позволяют составить структурно-функциональные схемы из конструктивных элементов и деталей с учетом их функционального назначения.

Структурно-функциональная схема рассматриваемой главной балки включает в себя четыре монтажных блока повышенной заводской готовности без изменения сечения главной балки по длине пролета (далее – конфигурация *U*) и три фрикционно-сварных стыка монтажных блоков (далее – конфигурация *W*).

Для конфигурации *U* функции взаимодействия между расчетными параметрами при вычислении вероятности отказа $F_U(j)$ на основании структурной схемы надежности (далее – *RBD*) имеют вид:

$$F_U(j)=\left(1-\prod_{k=1}^{n_{rs}}\left(1-F_{U,k}(j)\right)\right)-\int_0^t r(j)\cdot\prod_{i=1}^{3}F_{U,i}(j)dt\ , \tag{1}$$

$$F_{U,1}(j)\sim\min[F_{U,0}(j)], \tag{2}$$

$$F_{U,2}(j)=F_{U,1}(j)\cdot\frac{t(j)}{t}, \tag{3}$$

$$F_{U,3}(j)=F_{U,1}(j)\cdot\frac{1-t(j)}{t}, \tag{4}$$

где: $F_{U,k}(j)$ – массив j-х случайных реализаций ожидаемой вероятности отказа k-го блока повышенной заводской готовности в начальный момент времени; n_{rs} – число блоков повышенной заводской готовности, приходящихся на одну балку; $r(j)$ – функция плотности распределения внутренних усилий, характеризующая процесс резервирования слабонагруженных частей сечения; $F_{U,i}(j)$ – массив случайных реализаций ожидаемой вероятности отказа слабонагруженных частей сечения: в начальный момент времени, в момент включения в работу в случайный момент времени $t\in[0;t]$ и в течение оставшегося времени $(t-t)$; t – расчетное время эксплуатации балки.

Для конфигурации *W* функции взаимодействия между расчетными параметрами для вычисления вероятности отказа $F_W(j)$ следующие:

$$F_W(j)=\prod_{k=1}^{n_c}\left(1-\left(1-F_{W,1}(j)\right)\cdot\left(1-F_{W,2}(j)\right)\right), \tag{5}$$

здесь: n_c – число фрикционно-сварных стыков, приходящихся на одну балку; $F_{W,1}(j)$ и $F_{W,2}(j)$ – массивы случайных реализаций ожидаемой вероятности отказа болтовой и сварной части k-го комбинированного соединения, определяемые соответственно:

$$F_{W,1}(j)=1-\sum_{r=0}^{n_s-z}\binom{n_s}{r}\cdot\left(1-F_{w,1}(j)\right)^{n_s-r}\cdot F_{w,1}(j)^r, \tag{6}$$

где: $F_{w,1}(j)$ – массив случайных реализаций ожидаемой вероятности отказа отдельного болтового соединения; n_s – общее число болтов в соединении; $r=0,1,\ldots,(n_s-z)$ – число расчетных сочетаний; z – компенсирующая составляющая случайных факторов, заложенная в расчете соединения;

$$F_{W,2}(j)=1-\prod_{i=1}^{u}\left(1-F_{W,i}(j)\right), \tag{7}$$

$$F_{W,i}(j)=\prod_{i=1}^{k}\left(1-\prod_{i=1}^{v}\left(1-F_{w,2}(j)\right)\right), \tag{8}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где: $F_{W,i}(j)$ – вероятность отказа стыка i-го соединения; $F_{w,2}(j)$ – массив случайных реализаций ожидаемой вероятности отказа отдельного сварного шва; k – число сварных швов в одном соединении; v – число проходов, необходимых для наплавки расчетного катета шва; u – общее число стыкуемых элементов.

Вторая процедура. Выделим определяющие события режима эксплуатации конструктивной системы:

A_i – система обладает проектным резервом надежности (определяется временем окончания строительно-монтажных работ и ввода системы в эксплуатацию или работ по регенерации потребительских свойств до проектного резерва надежности);

B_i – система находится в исправном состоянии в течение i-го периода (определяется качеством изготовления и монтажа элементов системы);

C_i – нарушение потребительских качеств системы из-за физического износа, нарушение исправного состояния в течение i-го периода (определяется интенсивностью негативного влияния внешних факторов и способностью системы сопротивляться этим факторам);

D_i – система находится в работоспособном состоянии в течение i-го периода (определяется степенью восстановления системы);

E_i – нарушение работоспособного состояния системы (наработка на i-й отказ);

F_i – восстановление наиболее поврежденных элементов для продления i-го периода работоспособного состояния системы при проведении планового технического обслуживания и ремонта;

G_i – регенерация потребительских свойств системы после наработки на i-й отказ до проектного резерва надежности при выполнении работ по капитальному ремонту или реконструкции;

H – переход системы в предельное состояние.

Схема переходов между стадиями жизненного цикла конструктивной системы, для стадии проектирования, показана в виде потоковых графов на рис. 1. Для пролетных строений мостов время появления второго отказа связывают со значением ресурса.

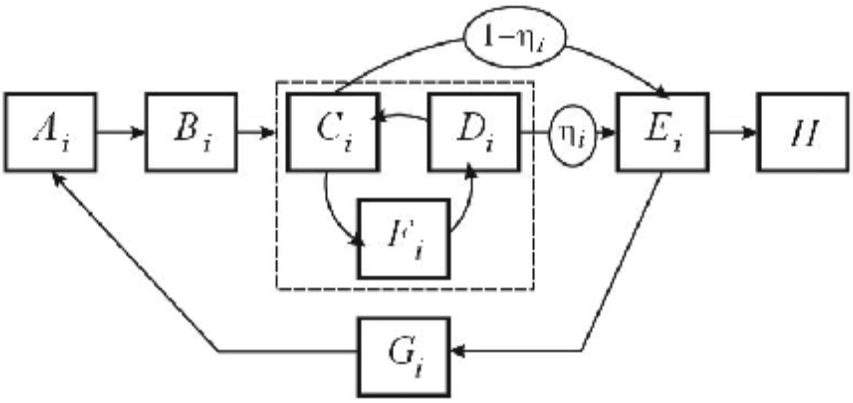


Рис. 1. Структурная схема показателей надежности на стадии проектирования

Очевидно, что значение точки времени, в которой произойдет переход между стадиями, представляет собой некоторую случайную величину. Для определения мест перехода между стадиями жизненного цикла системы t_k удобно воспользоваться методами «Монте-Карло» [3]. Алгоритм получения оценки k-го определяющего параметра включает три основные ступени:

- на первой, каждое событие режима эксплуатации выражается в виде соответствующей функции распределения случайной величины $j(t_k)$ в пределах ожидаемых границ варьирования $t_{k,\inf}$ и $t_{k,\sup}$: $f[t_{k,\inf};t_{k,\sup}]$.

- на второй, допуская, что оцениваемые случайные величины равновероятны в пределах установленных границ, генерируем их в объеме N с помощью идентифицированных генераторов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

случайных чисел по равномерному закону распределения случайной величины: $t_k \,|\, N \Rightarrow \text{runif}\left(N, f[t_{k,\inf}; t_{k,\sup}]\right)$. В результате получим массивы случайных реализаций искомых параметров $t_k \in [t_{k,1},...,t_{k,j},...,t_{k,N}]$.

- на третьей ступени из каждого массива t_k выбираем случайную реализацию $t_{k,j}$. Для случайного выбора проводим генерирование величины j, характеризующей положение реализации $t_{k,j}$ в массиве $t_{k,1},...,t_{k,j},...,t_{k,N}$, считая её появление равновероятным на интервале от 1 до N: $j|N \Rightarrow \text{runif}(N, j\,[1, N]) \Rightarrow j \Rightarrow t_{u,j}$.

Полученные случайные реализации $t_{k,j}$ будут характеризовать места перехода между стадиями жизненного цикла системы t_k, которые удобно записать в виде вектора событий $\mathbf{t}$:

$$\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_{A1} \\ t_{B1} \\ t_{C1} \\ t_{E1} \\ t_{A2} \\ t_{B2} \\ t_{C2} \\ t_{E2} \\ t_H \end{pmatrix}. \qquad (9)$$

При необходимости учета негативного стечения обстоятельств, которые будут определяться отступлением от установленных проектных требований, например, перенос срока или невыполнение ремонта, отдельные элементы вектора (9) могут быть исключены или скорректированы.

Рассмотрим переход между событиями $B_i - E_i$. Этот переход включает в себя два основных потока событий: $B_i - C_i - F_i - D_i - E_i$ и непосредственно $B_i - C_i - E_i$.

В первом случае происходит восстановление наиболее поврежденных элементов за счет мероприятий по содержанию пролетного строения моста. Здесь степень восстановления системы h_i определяется вероятностью выполнения всех предусмотренных мероприятий. Второй случай характеризуется вероятностью невыполнения части запланированных мероприятий $(1-h_i)$ и накоплением внешне неочевидных повреждений.

Процесс восстановления уровня надежности системы h_i в переходе между событиями $B_i - E_i$ может быть представлен комбинированной структурной схемой статистически независимых блоков $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$ и $Z_{i,j}$. Эти блоки определяют последовательность выполнения j-х комплексов работ по содержанию, профилактике и планово-предупредительному ремонту соответственно. Мероприятия, проводимые в рамках каждого из этих комплексов, рассматриваются как мероприятия идентичной направленности.

На рис. 2 приведена идеализированная структурная схема восстановления заданного уровня надежности металлического пролетного строения моста, при условии соблюдения периодичности ремонтных мероприятий, рекомендуемой ведомственными нормами [4]. Оценку ожидаемого числа отдельно взятых комплексов работ следует проводить для периода между событиями, которые определяют наличие или восстановление проектного уровня надежности. Для конструктивных систем данного типа такой период может соответствовать времени между капитальными ремонтами.

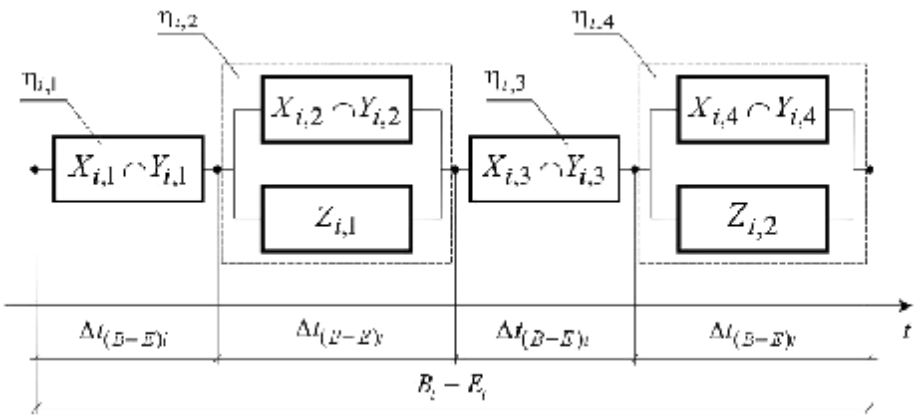
Степень восстановления системы в рамках отдельно взятого j-го комплекса работ $R_{i,j}$ рассматривается как вероятность выполнения $m_{i,j}$ мероприятий из $n_{i,j}$ запланированных (рис. 2, *б*), по формуле:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$R_{i,j} = \sum_{r_{i,j}=0}^{n_{i,j}-m_{i,j}} \frac{n_{i,j}!}{r_{i,j}!(n_{i,j}-r_{i,j})!} \cdot R_{1i,j}^{\,n_{i,j}-r_{i,j}} \cdot \left(1-R_{1i,j}\right)^{r_{i,j}}, \qquad (10)$$

где: $R_{1i,j}$ – вероятность выполнения отдельного мероприятия j-го комплекса работ, обусловленная случайным сочетанием событий «качество выполнения – эффективность надзора»; $r_{i,j} = 0,1,\ldots,(n_{i,j}-m_{i,j})$ – число сочетаний из $n_{i,j}$ по $m_{i,j}$; $n_{i,j}$ – общее число запланированных мероприятий j-го комплекса работ; $m_{i,j} = \mathrm{runif}[0; n_{i,j}]$ – значение случайной реализации параметра равновероятного в интервале от 0 до $n_{i,j}$, характеризующего объем выполненной работы в рамках j-го комплекса.

а)



б)

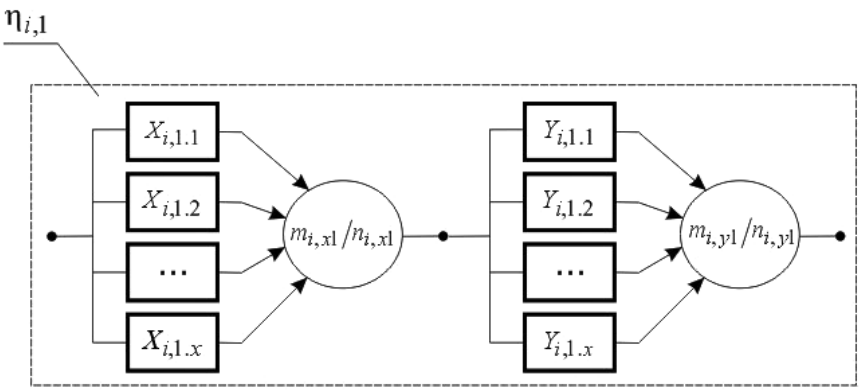


Рис. 2. Идеализированная структурная схема восстановления заданного уровня надежности пролетного строения

За промежуток времени $\Delta t_{(B-E)i}$ выполняется определенная последовательность действий, направленная на устранение возникающих в процессе эксплуатации повреждений, в результате чего происходит изменение показателя надежности системы на величину $h_{i,j}$. В зависимости от конфигурации структурной схемы надежности вычисляется соответствующее значение $h_{i,j}$ по формулам расчета вероятности безотказной работы [2].

Базируясь на гипотезе Пальмгрена-Майнера о линейном накоплении и суммировании повреждений [5], определим характеристику h_i:

$$h_i = 1 - \prod_{j=1}^{u} \left(1 - h_{i,j}\right), \qquad (11)$$

где: u – число последовательных изменений показателя надежности.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для получения характеристики h_i выполняются многократные вычисления с использованием формулы (10) в соответствии с принятой структурной схемой. Число этих вычислений n принимается для каждой системы (подсистемы) индивидуально в соответствии с предъявляемыми требованиями надежности и степени ответственности.

При определении расчетного значения $h_{i,p}$ предполагается использование вариационного принципа Лагранжа-Гамильтона [6]. Из всех полученных значений характеристики $h_{i,1}, h_{i,2}, ..., h_{i,n}$ отбирается экстремальное (в данном случае минимальное) значение:

$$h_{i,p} \le \min\left(h_{i,1}, h_{i,2}, ..., h_{i,n}\right). \tag{12}$$

Сформируем исходные данные, необходимые для оценки степени восстановления системы, применительно к нашему примеру. По действующим нормам [4] работы, отнесенные к профилактике, выполняются с периодичностью 1…5 лет; планово-предупредительный ремонт, в зависимости от степени износа элементов, осуществляют с периодичностью 10…15 лет; капитальный ремонт пролетных строений стальных мостов рекомендуется проводить через 40…58 лет. Эти данные определяют ожидаемые границы для промежутка времени $\Delta t_{(B-E)i}$, которые могут составлять от 8,0 до 19,3 лет, и ожидаемое число мероприятий для отдельно взятого комплекса работ: содержание – 31…154, профилактика – 42…132, планово-предупредительный ремонт – 28…55.

Используя указанные выше исходные данные, по формулам (10), (11) и условию (12) выполнены вычисления характеристик h_i в объеме n, равном 10^2, и отобраны соответствующие расчетные значения $h_{i,p}$. Для первого цикла $B_1 - E_1$ значение $h_{1,p}$ оказалось равным 0,987, для второго цикла $B_2 - E_2$ получено экстремальное значение $h_{2,p}$ = 0,976.

Третья процедура. В настоящее время одним из основных методов проектирования конструкций мостов остается метод предельных состояний. При использовании этого метода оценка допускаемого уровня отказов выполняется путем анализа использованной системы частных коэффициентов, предусматривающих компенсирующую составляющую возможных ошибок, неточностей, несовершенств и других случайных факторов. Для реализации этой процедуры в первую очередь рассматриваются коэффициенты условий работы (первого и второго вида) и коэффициент надежности по назначению [6].

В общем виде вектор состояний $\mathbf{z}_{RBD}$ формируется из элементов, которые рассматриваются в контексте с элементами вектора событий (9) и характеризуют процесс изменения компенсирующей составляющей в течение всего жизненного цикла системы (подсистемы):

$$\mathbf{z}_{RBD} = \begin{pmatrix} z_{RBD,A1} \\ z_{RBD,B1} \\ z_{RBD,C1} \\ z_{RBD,E1} \\ z_{RBD,A2} \\ z_{RBD,B2} \\ z_{RBD,C2} \\ z_{RBD,E2} \\ z_{RBD,H} \end{pmatrix}. \tag{13}$$

На стадии проектирования для каждой оцениваемой подсистемы (*RBD*) строится своя векторная модель вида (13) и выполняется расчет значений элементов вектора состояний. При выборе в качестве критерия оценки вероятности рассматриваемого отказа формула расчета элементов вектора состояний имеет вид:

$$z_k(t_{k,j}) = n_{\langle s \cup s \rangle} \cdot g_n \cdot h_{i,p} \cdot \prod_r m_r(t_{k,j}), \tag{14}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где: $n_{\langle s \cup s \rangle}$ – число элементов, идентичных по признаку s и объединенных в составе подсистемы в единую группу; g_n – коэффициент надежности по назначению; $\prod_r m_r(t_{k,j})$ – произведение всех (r) предусмотренных коэффициентов условий работы m_r, принимаемых в расчетах для времени перехода $t_{k,j}$, соответствующего k-ой стадии жизненного цикла системы; $h_{i,p}$ – степень восстановления системы.

Векторы состояний $\mathbf{z}_U$ и $\mathbf{z}_W$ для статистически независимых блоков конфигурации U и W получены следующего вида:

$$zU := \begin{bmatrix} n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \cdot (2 - \eta 1.p) \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot \eta 1.p \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot m \cdot (2 - \eta 2.p) \\ n_{rs} \cdot \gamma_n \cdot \eta 2.p \\ n_{rs} \end{bmatrix} \quad zU = \begin{pmatrix} 3.400 \\ 3.400 \\ 3.444 \\ 3.948 \\ 3.400 \\ 3.400 \\ 3.482 \\ 3.904 \\ 4.000 \end{pmatrix} \qquad kU := \frac{zU}{n_{rs}} \quad kU = \begin{pmatrix} 0.850 \\ 0.850 \\ 0.861 \\ 0.987 \\ 0.850 \\ 0.850 \\ 0.870 \\ 0.976 \\ 1.000 \end{pmatrix} \tag{15}$$

Вектор состояний для конфигурации U Коэффициент использования

$$zW := \begin{bmatrix} n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \cdot (2 - \eta 1.p) \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot \eta 1.p \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot m \cdot m_b \cdot m_{b1} \cdot (2 - \eta 2.p) \\ n_s \cdot \gamma_n \cdot \eta 2.p \\ n_s \end{bmatrix} \quad zW = \begin{pmatrix} 22.032 \\ 22.032 \\ 22.318 \\ 31.584 \\ 22.032 \\ 22.032 \\ 22.561 \\ 31.232 \\ 32.000 \end{pmatrix} \qquad kW := \frac{zW}{n_s} \quad kW = \begin{pmatrix} 0.688 \\ 0.688 \\ 0.697 \\ 0.987 \\ 0.688 \\ 0.688 \\ 0.705 \\ 0.976 \\ 1.000 \end{pmatrix} \tag{16}$$

Вектор состояний для конфигурации W Коэффициент использования

где: m, m_b, m_{b1} – коэффициенты условий работы, соответственно принимаемые в зависимости от области применения конструкции, характеристики стыка (или прикрепления) и характеристики соединения [1]; остальные обозначения – см. примечания к формулам (1), (6), (14).

Четвертая процедура. Перед выполнением имитационного моделирования определяющего показателя надежности системы требуется провести идентификацию распределения вероятностей отдельных конструктивных элементов.

Такая информация может быть получена посредством статистического анализа выборочных данных об авариях и инцидентах, связанных с эксплуатацией аналогичных конструктивных систем, или путем ранжирования отдельных конструктивных элементов, например по ожидаемой частоте возникновения отказов. В любом случае, выбранный подход для идентификации распределения вероятностей однотипных элементов должен быть ориентирован на самый худший случай,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

гарантирующий получение достоверного результата. Результаты ранжирования конструктивных элементов рассматриваемой системы с учетом требований ГОСТ 27310-95 [7] по ожидаемой частоте возникновения отказа сведены в таблицу.

Таблица

Код	Элемент	Ожидаемая частота возникновения отказа для индивидуального изделия	Ожидаемая вероятность отказов, F_i	
			$F_{i,\inf}$	$F_{i,\sup}$
E1	Монтажные блоки повышенной заводской готовности	Практически невероятный отказ	10^{-6}	$5\cdot10^{-5}$
E2	Сварные соединения элементов	Редкий отказ	$5\cdot10^{-5}$	10^{-3}
E3	Соединения монтажных блоков высокопрочными болтами	Возможный отказ	10^{-3}	$5\cdot10^{-3}$

С использованием данных о распределении вероятностей однотипных элементов (табл.) разработан алгоритм имитационного моделирования вероятности отказа для рассматриваемого примера, который включает три основные ступени:

- на первой, ожидаемая вероятность отказа каждого i-го конструктивного элемента выражается в виде соответствующей функции распределения случайной величины $j\,(F_i)$ в пределах ожидаемых границ варьирования $F_{i,\inf}$ и $F_{i,\sup}$: $j\,[F_{i,\inf};F_{i,\sup}]$.

- на второй, допуская, что оцениваемые случайные величины равновероятны в пределах установленных границ, генерируем их в объеме N с помощью идентифицированных генераторов случайных чисел по равномерному закону распределения случайной величины: $F_i|N \Rightarrow \mathrm{runif}\left(N, j\,[F_{i,\inf}, F_{i,\sup}]\right)$. В результате получим массивы случайных реализаций расчетных параметров $F_i \in [F_{i,1},...,F_{i,j},...,F_{i,N}]$.

- на третьей ступени с помощью разработанных функций взаимодействия между расчетными параметрами (1)-(8) для каждого события (9) режима эксплуатации системы выполняем отдельный имитационный эксперимент. При этом в расчетных моделях используются соответствующие значения вектора состояний (15) или (16).

- на четвертой, учитывая, что отказ любого из блоков влечет за собой отказ всей системы, выражаем структурную схему надежности системы в виде последовательного соединения конфигураций U и W и определяем вероятность отказа системы:

$$F_{sistem}(j) = 1-\left(1-F_U(j)\right)\cdot\left(1-F_W(j)\right). \qquad (17)$$

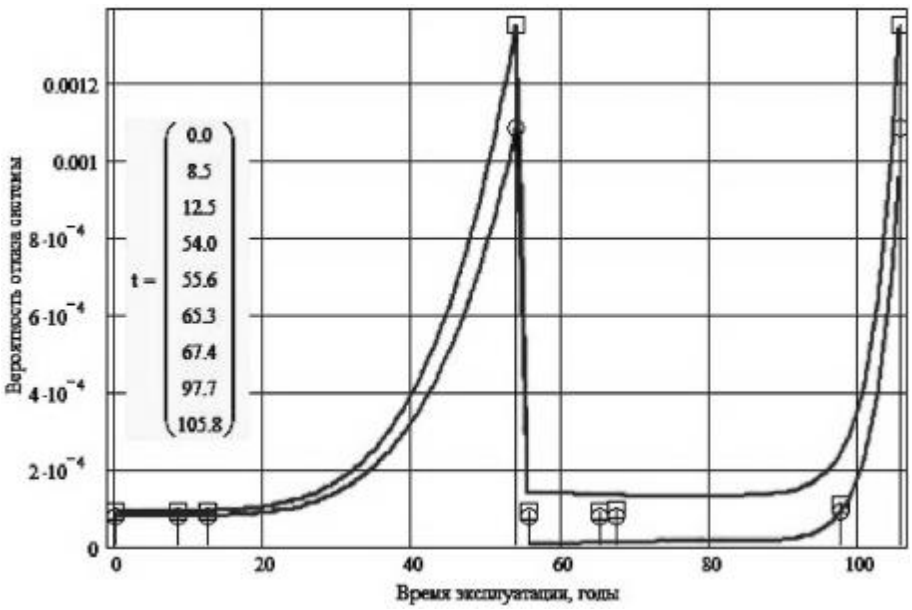


Рис. 3. Фрагмент имитационного моделирования изменения во времени уровня надежности конструктивной системы (по вероятности отказа)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Пятая процедура. Полученные результаты имитационного моделирования подвергаются регрессионному и статистическому анализу для получения моделей, характеризующих процессы изменения во времени уровня надежности системы.

Фрагмент имитационного моделирования изменения во времени уровня надежности рассматриваемой конструктивной системы для одной из копий вектора событий **t** представлен на рис. 3. Данный фрагмент характеризует области изменения критических значений вероятности отказа системы, ограниченные кусочно-нелинейными функциями регрессии с уровнем доверия 95 %.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующий вывод: алгоритмы, разработанные на основании структурных и статистических методов, методов имитационного моделирования и регрессионного анализа, позволяют с достаточной для практики точностью формировать модели изменения за время эксплуатации уровня надежности конструктивных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы.
2. ГОСТ Р 51901.14-2007 (МЭК 61078:2006). Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы.
3. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: Учеб. пособие для студ. вузов / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
4. Рекомендации по содержанию и ремонту металлических пролетных строений автодорожных мостов. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1983.
5. Ziolko J. Naprawa po awarii wiezowego zbiornika na wode // Inzyneria I Budownictwo, 1988, № 1.
6. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 192 с.
7. ГОСТ 27310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Общие положения.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624(075.8)
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
E-mail: man48-75@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АЛГОРИТМЫ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ И РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АННОТАЦИЯ

Представлены алгоритмы метода Монте-Карло применительно к моделированию работы строительных конструкций, учитывающие конкретные условия взаимодействия и изменения исходных статистических параметров. В частности, обсуждаются вопросы продолжительности моделирования и длительности циклов действия отдельных параметров, моделирование корреляций, синхронизации циклов действия нагрузок, регрессионные изменения параметров, неопределенности переходов от нагрузок к усилиям и от усилий к напряжениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод Монте-Карло, строительные конструкции, нагрузки, напряжение, статистическое моделирование.

A.Z. Manapov – candidate of the technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

ALGORITHMS OF MONTE-CARLO METHOD IN SIMULATION OF BUILDING STRUCTURES WORK AND RESOURCE

ABSTRACT

Algorithms of Monte-Carlo method are presented, with reference to modeling of work building structures, considering concrete conditions of interaction and change of initial statistical parameters. Questions of modeling and duration of separate parameters action are considered. Modeling of correlations, synchronization of cycles action loadings, regression changes of parameters, uncertainty of transitions from loadings to efforts and from efforts to tension are discussed.

KEYWORDS: Monte-Carlo method, building structures, loadings, tension, statistical modeling.

Метод Монте-Карло относится к статистическим имитационным методам. Имитация заключается в том, что на каждом отрезке времени существования конструкции каждому расчетному параметру присваивается определенное численное значение. Численные значения расчетного параметра характеризуют его состояние для данного шага моделирования и определяются генератором случайных чисел. Генератор случайных чисел запрашивает предварительно функцию распределения расчетного параметра, параметры самой функции распределения и число генерированных значений параметра. На подготовительной стадии расчетные параметры выражаются в интервальных оценках. Интервальные оценки выражаются множеством цифровых значений, минимальное из которых считается нижней границей интервальной оценки, максимальное – верхней границей интервальной оценки. Внутри интервала возможные значения параметра конкретизируются функциями распределения. По теории вероятностей интервальная оценка выражается через бесконечное множество случайных чисел, посеянных по определенной функции распределения вероятностей.

Функция распределения вероятностей определяет вероятность нахождения параметра на любом заданном отрезке интервала. По методу Монте-Карло генератором случайных чисел каждому исходному параметру, участвующему в расчете, присваивается мгновенное численное значение, одно из возможных значений из его интервальной оценки. Далее, используя функции взаимодействия, получают мгновенные значения промежуточных и итоговых параметров. Мгновенные значения могут характеризовать состояние одного сооружения, одного этажа сооружения, одного элемента сооружения или объединенной группы сооружений, объединенных общими признаками: принадлежностью к одной серии или к одной территории. Мгновенные значения могут изменяться во времени, могут быть постоянными во времени. К изменяющимся во времени относятся: вес снегового покрова и ветровое давление; к постоянным, не изменяющимся во времени: собственный вес конструкций, для которых реализации происходят в статистическом множестве однотипных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

сооружений. То есть для таких параметров полное статистическое представление не может быть реализовано на одном сооружении, поэтому выполняется параллельное моделирование для множества однотипных (серийных сооружений). Объем такого множества (число однотипных сооружений) определяется по результатам тестовых проверок сходимости результатов моделирования. Например, на первом этапе можно назначить объем множества из 1000 однотипных сооружений, на втором из 2000, далее по геометрической прогрессии из 4000; 8000 до получения асимптотической сходимости результатов моделирования (например, максимальных усилий в элементах конструкций после реализации сочетаний нагрузок).

Решение о работоспособности строительных конструкций принимается на основе сравнения итоговых параметров – напряжений с удельной прочностью используемых конструкционных материалов. Промежуточными параметрами являются усилия, геометрические параметры, итоговые нагрузки.

Метод Монте-Карло сформулирован в виде гипотезы, общего аналитического доказательства применимости метода не существует, однако в конкретных случаях правдивость метода подтверждается.

Для решения конкретных задач необходимо предварительно разработать алгоритмы применения метода Монте-Карло, учитывающие конкретные условия взаимодействия и изменения исходных статистических параметров. Ниже, в таблицах 1-6 и пояснениях к ним, приведены алгоритмы метода Монте-Карло применительно к моделированию работы строительных конструкций.

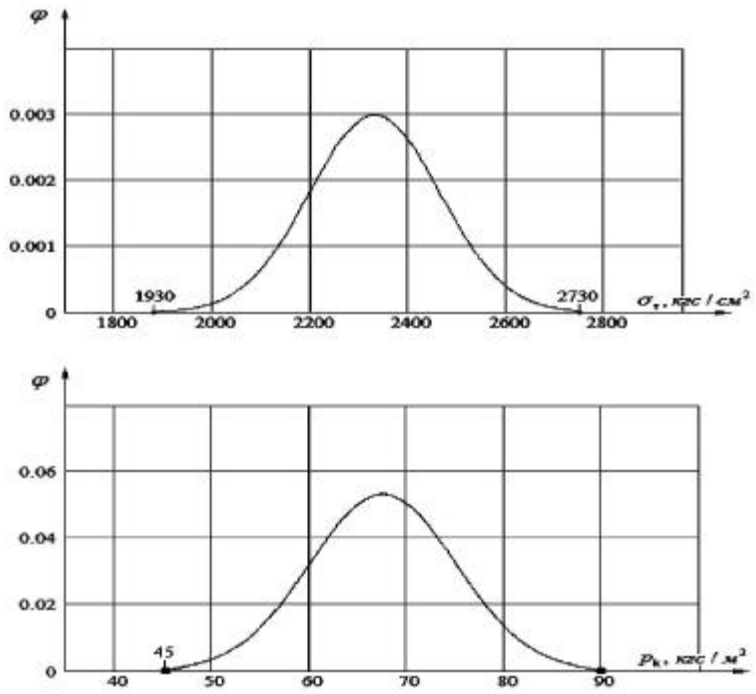


Рис. 1. Интервальная оценка с использованием нижнего и верхнего пределов возможных значений и функции распределения внутри интервала: а) интервальная оценка предела текучести стали Вст3пс; б) интервальная оценка постоянной нагрузки от веса утеплителя кровли

Первый этап моделирования предполагает создание обобщенного алгоритма прогнозного моделирования работы строительных конструкций, определение продолжительности моделирования, координатных осей моделирования.

Таблица 1

Создание обобщенного алгоритма прогнозного моделирования работы строительных конструкций. Определение продолжительности моделирования, координатных осей моделирования				
Моделирование нагрузок	Моделирование расчетных схем. Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям	Моделирование перехода от усилий к напряжениям	Моделирование удельной прочности конструкционных материалов	Многократные прогоны по различным сценариям. Проверка сходимости результатов. Статистический анализ результатов моделирования

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Продолжительность моделирования может приниматься равной расчетной продолжительности эксплуатации, в зависимости от класса ответственности сооружения 25, 50, 100 лет. На основании обобщенного алгоритма разрабатываются алгоритмы моделирования отдельных групп параметров: нагрузок, расчетных схем, перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям, от усилий к напряжениям.

Таблица 2

Моделирование статических нагрузок				
Назначение координатных осей моделирования (координата времени, координата серийных конструкций)	Определение параметров нагрузок и интервальных оценок параметров	Назначение циклов действия нагрузки, синхронизация циклов действия нагрузки	Анализ условий и моделирование корреляций нагрузок, анализ и моделирование регрессионных изменений	Моделирование мгновенных значений нагрузок с использованием генератора случайных чисел. Многократные прогоны, проверка сходимости результатов

Длительность цикла действия нагрузки принимается равной периоду его изменения. Самой быстроизменяющейся нагрузкой часто оказывается крановая нагрузка, с характерной продолжительностью изменения 2 минуты. Длительность цикла ветровой нагрузки принимается обычно равной периоду его усреднения при метеонаблюдениях – 10 минут, снеговой нагрузки – периоду снятия показаний при метеонаблюдениях – 10 суток. Синхронизация циклов действия нагрузки предполагает обеспечение кратности длительности циклов медленно изменяющихся нагрузок относительно самой быстроизменяющейся. Моделирование корреляций нагрузок обычно выполняется автоматически при условии применения формул, отражающих физические связи между ними. Например, корреляция между вертикальной и горизонтальной крановыми нагрузками будет равна 1.0, если использовать распространенную формулу: горизонтальная крановая нагрузка равна 0.05 от вертикальной крановой нагрузки. При использовании более сложных формул, учитывающих все возможные рабочие операции крана, вес крюковой подвески, вес тележки, коэффициент корреляции может существенно уменьшиться. Регрессионные изменения предполагают постепенное нарастание или уменьшение нагрузок при длительной эксплуатации сооружений. Например, нагрузки от собственного веса несущих конструкций или кровельных конструкций имеют тенденцию увеличиваться за счет накопления пыли, очередной покраски, ремонтов.

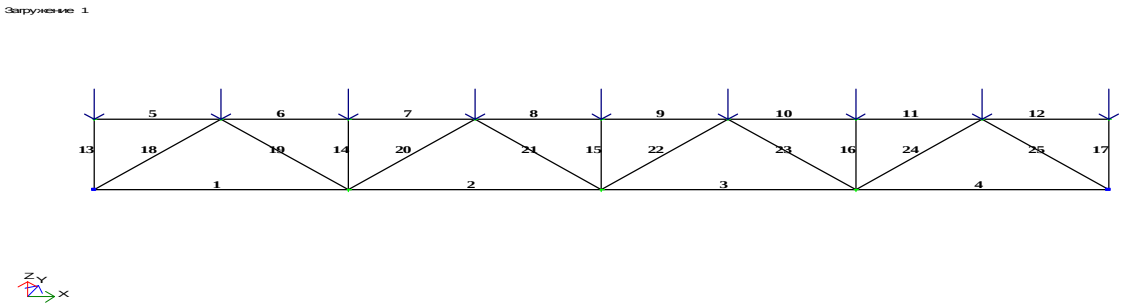
Таблица 3

Моделирование расчетных схем. Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям				
Вариантное, дискретное моделирование расчетных схем	Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям для вариантов расчетных схем	Учет геометрической нелинейности	Построение общей функции распределения для вариантных дискретных расчетных схем	Моделирование множества перехода от нагрузок к усилиям для расчетных элементов и сечений

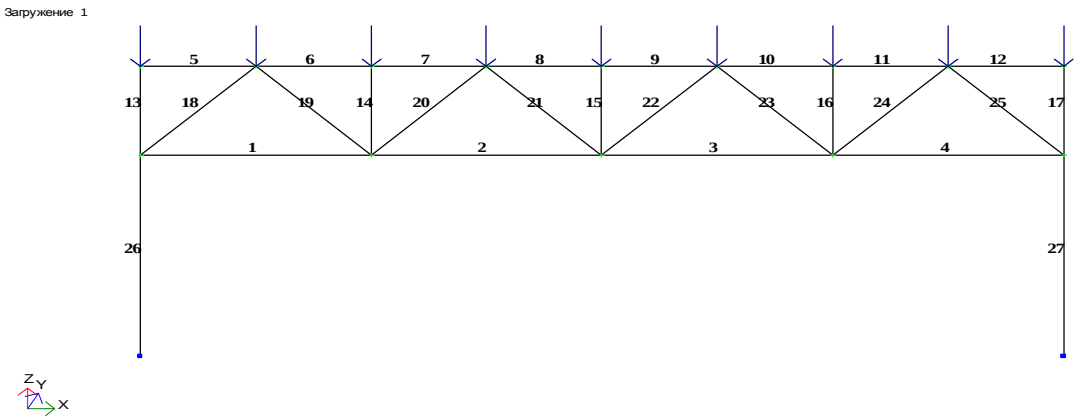
Расчетная схема конструкций составляется, как правило, в нескольких вариантах. По этой причине результаты расчетов усилий и коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям представляются в интервальных оценках. Рассмотрим пример определения коэффициентов перехода от нагрузок к усилиям для стропильной фермы пролетом 24 метра со стержнями из равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93, верхний пояс и опорные раскосы – уголки L120x12, нижний пояс и раскосы – уголки L80x12, стойки – уголки L70x4. Примем три варианта расчетной схемы:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1 вариант расчетной схемы



2 вариант расчетной схемы



3 вариант расчетной схемы

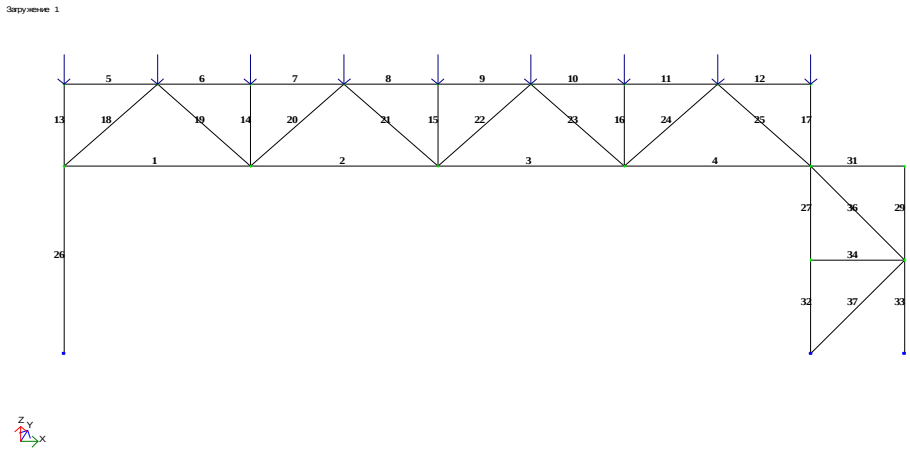


Рис. 2. Варианты расчетных схем для стропильной фермы

В таблице 4 приведены усилия в расчетных стержнях и коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям. Полученные результаты показали максимальные изменения коэффициентов перехода от нагрузок к усилиям в стержнях нижнего пояса фермы до 39,2 %

Таблица 4

Номер стержня	Усилия при 1 варианте расчетной схемы (т)	Усилия при 2 варианте расчетной схемы	Усилия при 3 варианте расчетной схемы	Коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям
1	40.92	32.15	29.39	2.45 ч 3.41 39.2 %
2	87.63	78.88	76.15	6.34 ч 7.30 15.1 %
8	-93.42	-88.45	-87.13	-7.26 ч -7.78 7.2 %
14	-11.85	-11.87	-11.87	-0.98
18	-58.60	-58.54	-58.58	-4.88
19	41.72	41.75	41.76	3.48

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Так как переход от усилий к напряжениям содержит неопределенности из-за невозможности точных оценок концентрации напряжений, геометрических размеров сечений, эксцентриситетов и кривизны, расчетных длин и функций изгиба продольной оси, коэффициент перехода определяется в интервальных оценках в виде числового множества. Напряжения в виде числового множества определяются отдельно от каждой нагрузки, суммарное итоговое напряжение получается после суммирования всех промежуточных напряжений, действующих на одном отрезке времени.

Таблица 5

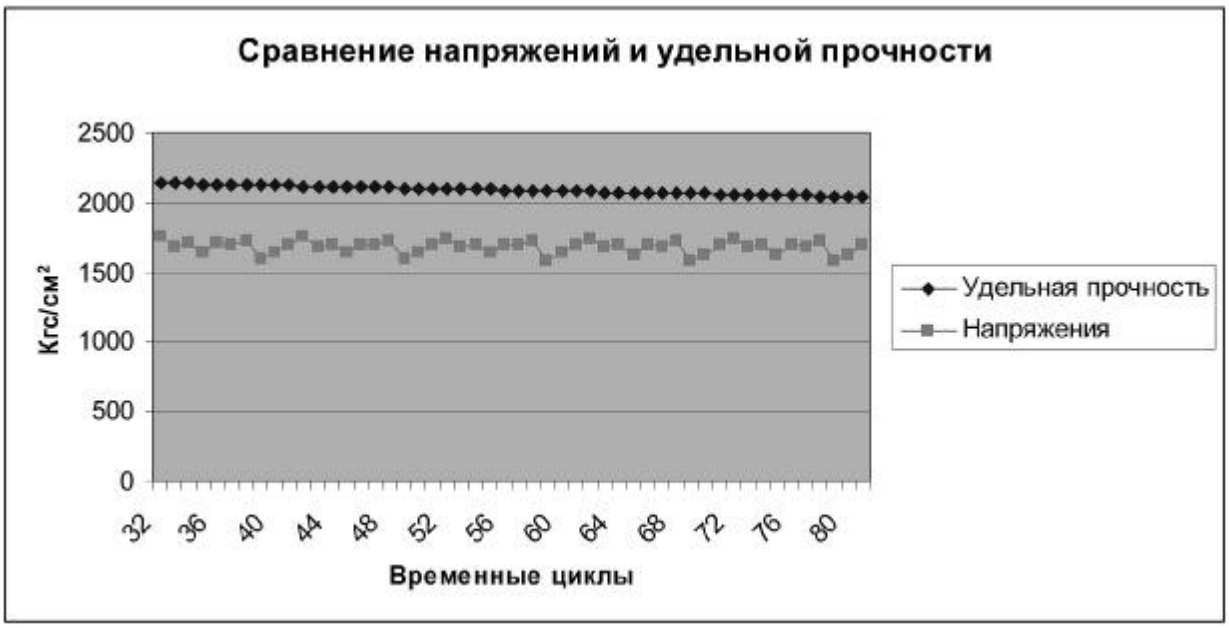
Моделирование перехода от усилий к напряжениям				
Построение общей функции перехода от усилий к напряжениям	Учет концентрации напряжений	Учет допусков на геометрические размеры сечений, эксцентриситетов и кривизны	Учет неопределенностей при определении расчетных длин и функций изгиба продольной оси	Моделирование числового множества перехода от усилий к напряжениям

Моделирование удельной прочности конструкционных материалов выполняется с учетом всех факторов влияния и оформляется в виде числового множества. Количество чисел в этом множестве должно совпадать с количеством чисел в множестве итоговых напряжений.

Таблица 6

Моделирование удельной прочности конструкционных материалов				
Учет физической нелинейности	Учет масштабного фактора	Учет скорости деформаций	Учет температуры деформаций	Учет старения

Решение о работоспособности строительных конструкций принимается на основе сравнения итоговых суммарных напряжений с удельной прочностью конструкционных материалов. Так как множество итоговых напряжений изменяется во времени, а множество удельной прочности изменяется в множестве однотипных элементов сооружения, сравнение множеств выполняется для всей совокупности серийных сооружений за полный период эксплуатации (рис. 3).



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для использования метода Монте-Карло для статистического моделирования работы и ресурса строительных конструкций необходимо предварительно разработать алгоритмы расчета, с назначением и численным представлением в интервальных оценках исходных параметров, функциональных переходов от исходных параметров к промежуточным и конечным параметрам, определить оси рассеивания параметров и корреляции между ними, приемы корректировки в процессе решений, принципы сравнения и оценки конечных параметров, приемы оценки и корректировки по результатам тестовых решений.

Выводы:

1. Разработаны алгоритмы метода Монте-Карло для статистического моделирования работы и ресурса строительных конструкций. В соответствии с этими алгоритмами моделирование выполняется в статистическом множестве однотипных сооружений, для которых исходные, промежуточные, конечные параметры, функции перехода и взаимодействия между этими параметрами определяются как статистические множества, а значения параметров конкретного сооружения в конкретный момент времени путем случайного выбора из этих статистических множеств генератором случайных чисел.

2. Предложены принципы разделения параметров по признакам: масштаба распространения статистического множества, представляющего параметр (снеговой, ветровой район, отдельное сооружение, отдельный этаж, отдельный конструктивный элемент); характера изменения или постоянства во времени. Предложены обоснованные операционные интервалы статистического моделирования: общей продолжительности моделирования, продолжительности одного цикла существования параметров, приемы синхронизации циклов и корреляций между параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.
2. Манапов А.З. Поверочный расчет стальной стропильной фермы производственного здания статистическим имитационным методом // Известия КГАСУ, 2008, № 2(10). – С. 53-60.
3. Мкртычев О.В. Надежность многоэлементных стержневых систем инженерных конструкций. Диссертация доктора технических наук. – М., 2000. – 412 с.
4. Орлов А.И. Интервальный статистический анализ // В сб.: Статистические методы оценивания и проверки гипотез: Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: Пермский государственный университет, 1993. – С. 149-158.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624(075.8)
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
Т.А. Зиннуров – аспирант
E-mail: man48-75@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АЛГОРИТМЫ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА СООРУЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Показана возможность статистического моделирования ветровой нагрузки при помощи основных законов распределения вероятностей. Ветровая нагрузка генерируется множеством случайных чисел, зависящих от функции распределения вероятности. Статистической базой для моделирования ветровой нагрузки являются данные метеонаблюдений по движению воздушных масс метеостанции Казань-«Опорная» за 58 лет.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод Монте-Карло, вероятность, распределение, статистический, моделирование, ветровой напор, прогноз.

A.Z. Manapov – candidate of technical sciences, associate professor
T.A. Zinnurov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering

ALGORITHMS OF MONTE-CARLO METHOD IN WIND ACTION SIMULATION ON STRUCTURE

ABSTRACT

The opportunity of wind loading statistical modeling by means of probabilities distribution main laws is presented. Wind loading is generated by random numbers depending on function of probability distribution. The statistical information for wind loading modeling is accepted from Kazan – “Basic” meteorological station observations on movement of air weights for 58 years.

KEYWORDS: Monte-Carlo method, probability, distribution, statistical, simulation, wind head, forecast.

В статье предложены и протестированы алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования параметров ветровой нагрузки на строительные сооружения. Статистической базой для моделирования ветровой нагрузки являются данные метеонаблюдений по движению воздушных масс метеостанции Казань-«Опорная» за 58 лет (1936-2004 гг.), используется также информация об ураганах 8 июля 2007 г. и 23 июня 2008 г.

По данным метеонаблюдений, на территории г. Казани преобладает слабый ветер со скоростью 3.1-4.5 м/с. В редких случаях для данной территории наблюдается появление сильных ветров скоростью выше 14 м/с. Среднее количество дней с сильным ветром составляет 10, наибольшее количество дней – 22 дня. Среднее число дней с наблюдаемым превышением скорости ветра 8 м/с составляет 89 дней, 15 м/с – 9 дней.

Таблица 1

Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
4.4	4.2	4.2	3.9	3.4	4.0	3.1	3.2	3.6	4.3	4.4	4.5	3.9

Таблица 2

Максимальная скорость ветра и порывов ветра (м/с)

Характеристика ветра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Скорость макс.	20	24	20	28	17	17	15	16	18	20	20	20	24
Порыв	20	26	24	20	20	25	20	19	24	28	28	24	28

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3

Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра

Скорость ветра (м/с)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0-1	27.1	30.5	31.4	27.4	30.4	34.5	39.7	37.7	34.5	24.1	22.1	26.4	30.5
2-3	21.7	23.7	25.8	25.6	27.0	29.3	28.0	28.9	26.0	25.0	27.1	23.0	26.0
4-5	24.2	22.5	20.4	26.0	23.8	23.1	21.2	22.5	24.0	24.9	24.2	25.0	23.5
6-7	14.2	12.5	12.6	13.5	12.8	9.5	8.0	8.4	10.7	15.5	14.9	14.8	12.3
8-9	10.8	8.6	7.9	6.2	5.6	3.1	2.9	2.4	4.0	8.2	10.0	8.5	6.5
10-11	1.2	1.0	0.8	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	1.3	1.0	1.3	0.7
12-13	0.5	1.1	0.6	0.4	-	0.2	-	-	0.5	0.8	0.5	0.6	0.4
14-15	0.2	0.1	0.3	0.3	-	0.1	-	-	-	0.1	0.1	0.4	0.1
16-17	0.1	-	0.2	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	0.0
18-21	0.0	0.0	0.2	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.0	-	0.0
22-25	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0

Таблица 4

Среднее число дней с сильным ветром

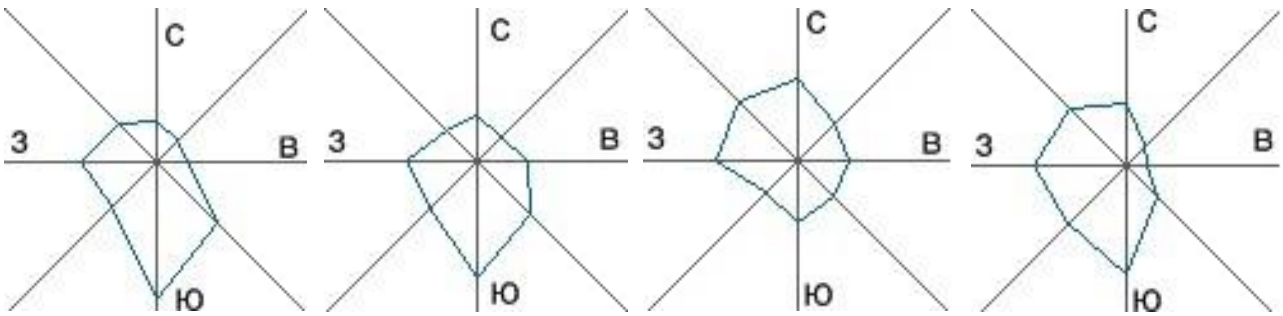
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1.3	0.6	1.1	0.3	1.5	1.3	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	10

В зимние, осенние и весенние месяцы, в основном, дуют ветры южной четверти с повторяемостью 49-56 %. В летние месяцы преобладают ветры северо-западного направления с повторяемостью в 44-47 %.

Таблица 5

Повторяемость (%) различных направлений ветра

Напр.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
С	8	8	9	9	13	14	15	14	12	11	6	5	10
СВ	5	7	6	8	11	10	10	9	5	5	4	3	7
В	5	8	8	9	9	10	11	10	8	4	5	5	8
ЮВ	15	16	16	13	9	11	10	9	11	8	11	15	12
Ю	27	24	27	23	14	15	12	13	16	19	26	31	21
ЮЗ	13	11	11	13	10	9	8	9	12	16	19	16	12
З	16	17	13	14	18	15	16	18	19	20	19	16	17
СЗ	10	10	6	8	13	15	14	15	14	16	9	8	12
штиль	11	12	15	11	13	14	19	17	14	11	9	9	13



январь апрель июль октябрь

Рис. 1. Роза ветров, построенная по данным таблицы 5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Ученые NASA утверждают, что, начиная с середины 90-х годов, произошёл скачок интенсивности ураганов, что потребовало пересмотреть шкалу классификации ураганов (F1-F4), добавляя F5, F6, F7. Ученые отмечают появление ураганов в тех местах, где их не было на протяжении нескольких веков [1].

Так, на территории г. Казани 8 июля 2007 г. были зафиксированы сильные шквалистые ветры. По данным Министерства по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям Республики Татарстан, средняя скорость при этом достигала 28-30 м/с. Этот ветер можно оценить как штормовой, переходящий в ураган. Такой силы ветер в г. Казани был зафиксирован впервые. Направление передвижения воздушных масс было зафиксировано со спутника. С 7.00 до 19.00 часов ветер имел западное направление, около 19.00 часов ветер неожиданно сменил направление на юго-западное с образованием ветра ураганной силы (рис. 2).

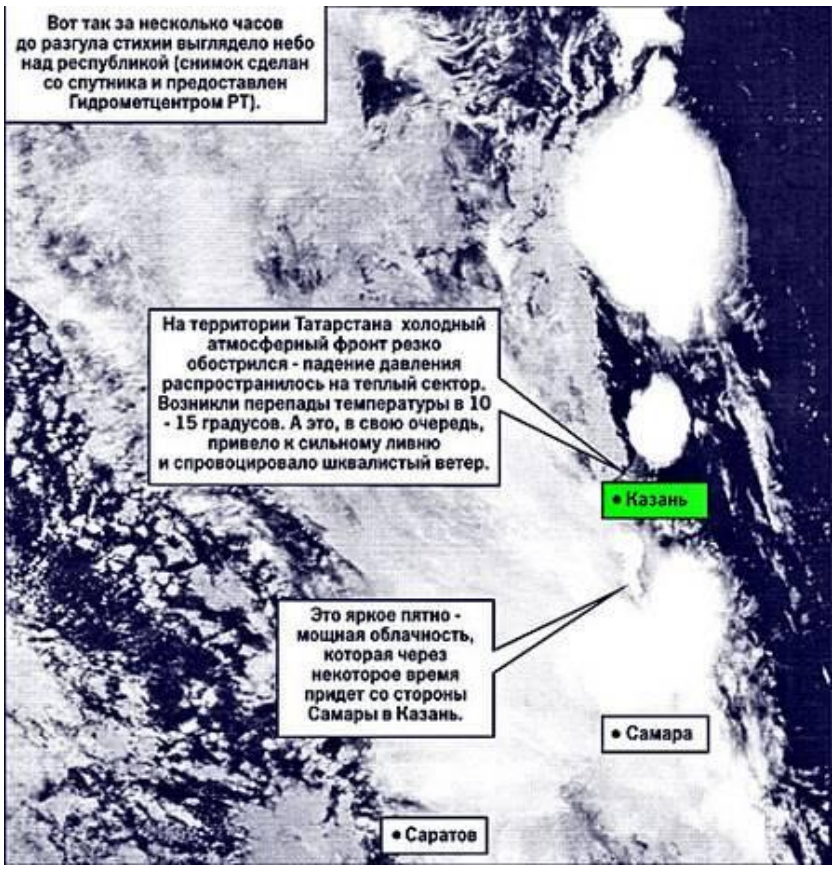


Рис. 2. Движение облачности и воздушных масс во время урагана 8 июля 2007 г.

Большие разрушения получили населенные пункты в районе г. Казани и поселка Лаишево, были снесены крыши домов, легкие строения, разрушены рекламные щиты, повалены деревья. Разрушения носили концентрированный характер. В лесных массивах проглядывались круговые участки диаметром несколько десятков метров, с поваленными или сломанными деревьями, что позволяет предположить о возникновении в очаге урагана смерчей. Есть версия, что ураган усилил свою силу, проходя через Куйбышевское водохранилище.

Статистическое моделирование ветровой нагрузки реализовано двумя методами. Первый метод предполагает использование нормальной функции распределения годовых максимумов ветрового давления с последующим моделированием текущих значений ветрового давления с интервалом 10 минут в течение года [2]. Второй метод моделирует непосредственно текущие значения ветрового давления с интервалом 10 минут с использованием функции распределения Вейбулла [3, 4].

Выполним статистическое моделирование ветрового давления первым методом, с использованием нормального асимптотического распределения в соответствии с данными пособия [2], со средним значением максимального годового давления ветра $\overline{w}_o$=27 кг/м^2 и коэффициентом вариации k_v=0.37. Полученное по этим данным с помощью генератора случайных чисел множество значений годовых максимумов ветрового давления за 100 лет представлено на гистограмме (рис. 3).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

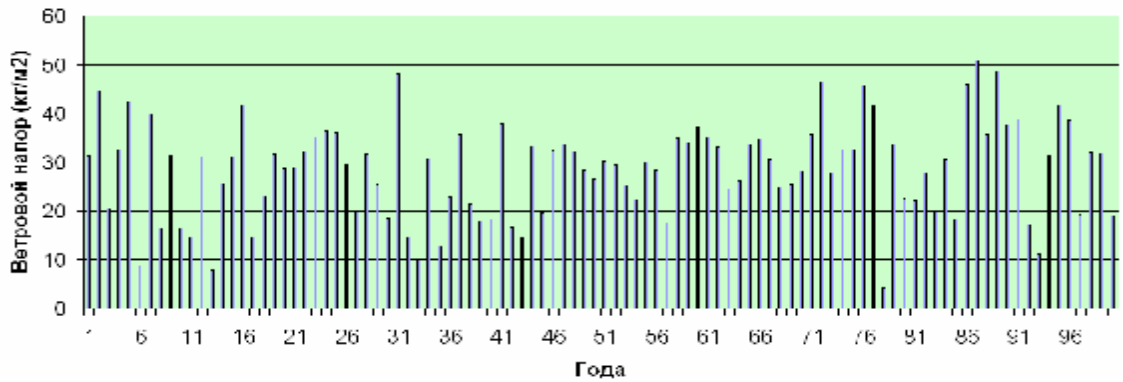


Рис. 3. Реализации годовых максимумов напора ветра

Как видно из гистограммы, минимальное значение годовых максимумов ветровой нагрузки составляет 4 кг/м^2 (8 м/с), а максимальное – 51 кг/м^2 (28,6 м/с). Результаты моделирования неадекватны статистическим данным метеонаблюдений. По данным метеонаблюдений, минимальное значение годовых максимумов скорости ветра составляет 14 м/с (12,2кг/м^2), максимальное, при порывах – 35 м/с (76.6 кг/м^2). С учетом этих фактов выполнена корректировка нормального асимптотического распределения с преобразованием в усеченное распределение (рис. 4). При этом нижний предел возможных значений принят равным a =12.2 кгс/м^2, верхний предел b =76.6 кгс/м^2.

$$\varphi(x)=\frac{1}{9.99\sqrt{2p}}\exp-\frac{1}{2}\left(\frac{x-27}{9.99}\right)^2 \tag{1}$$

$$\begin{cases}\varphi_y(x)=0, \quad \text{при } x<a \text{ и } x>b;\\ \varphi_y(x)=\dfrac{\varphi(x)-\Psi(x)}{1-a}, \quad \text{при } a\le x\le b,\end{cases} \tag{2}$$

$$\Psi(x)=\frac{(x-a)[\varphi(b)-\varphi(a)]}{b-a}+\varphi(a); \quad a=\int_{-\infty}^{a}\varphi(x)dx+\int_{b}^{\infty}\varphi(x)dx+\frac{\{\varphi(a)+\varphi(b)\}}{2}(b-a).$$

а)

б)

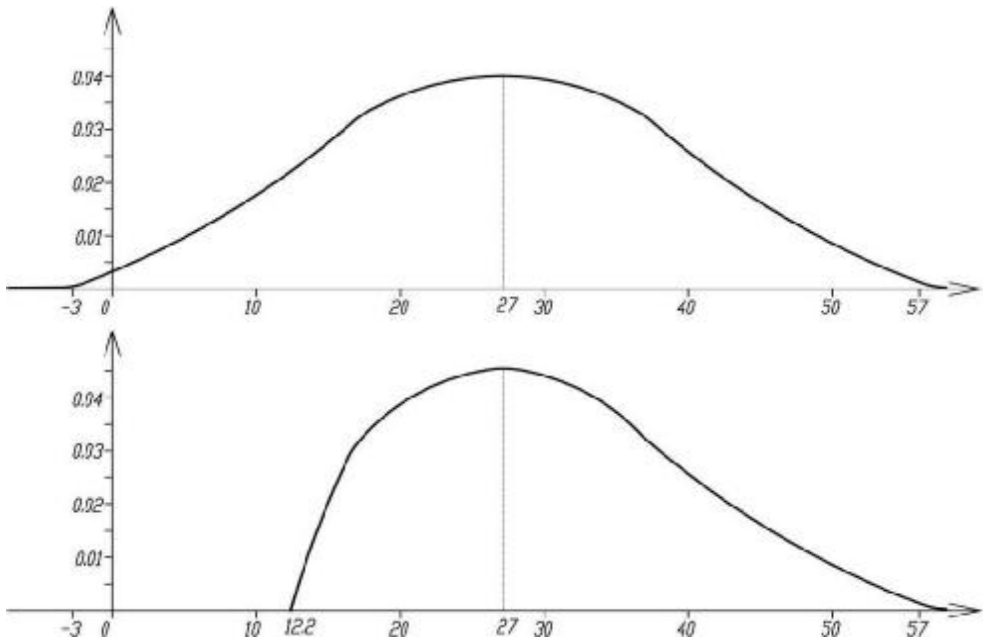


Рис. 4. Асимптотическое (а) и усеченное несимметричное
(б) распределение годовых максимумов ветрового давления

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Полученные с использованием усеченного распределения реализации годовых максимумов ветрового давления приведены на гистограмме на рис. 5.

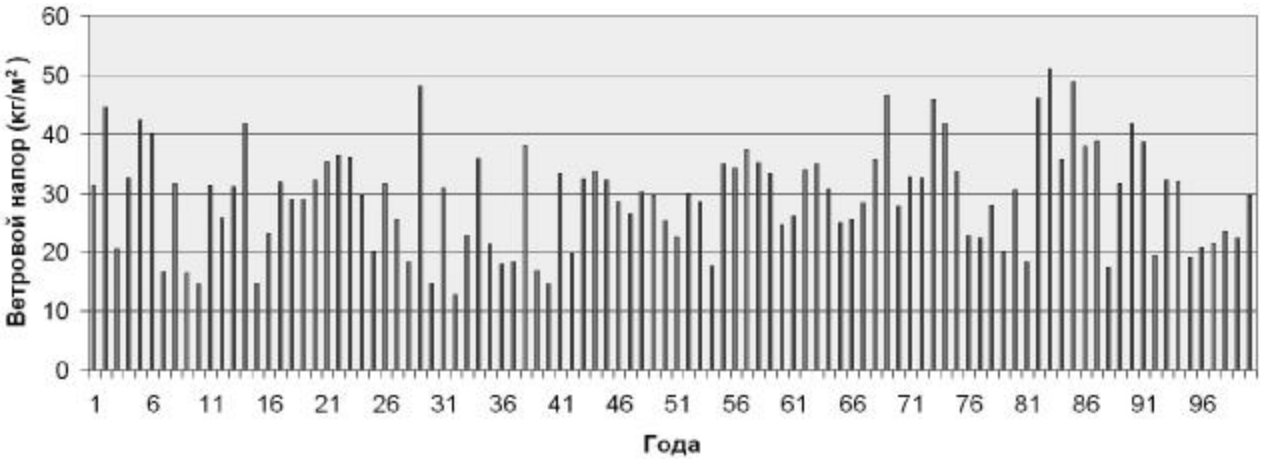


Рис. 5. Реализации годовых максимумов при использовании усеченного распределения

Для решения задачи моделирования ветрового напора в течение года с интервалом 10 минут были использованы статистические данные, представленные в таблице 3. На рис. 6 приведено графическое представление этих данных. Для решения задачи составлена программа в расчетном комплексе MathCAD (рис. 7). В соответствии с этой программой год разделен на 52560 интервалов по 10 минут каждый. На каждом интервале времени при помощи генератора случайных чисел определяется значение ветрового напора с учетом распределения, представленного в таблице 3. Результаты моделирования ветрового напора с интервалом 10 минут в течение года приведены на рис. 8. Годовой максимум ветрового напора для этого года составлял 28 кгс/м^2, в то время как абсолютный максимум за 100 лет был равен 55,4 кгс/м ^{2}.

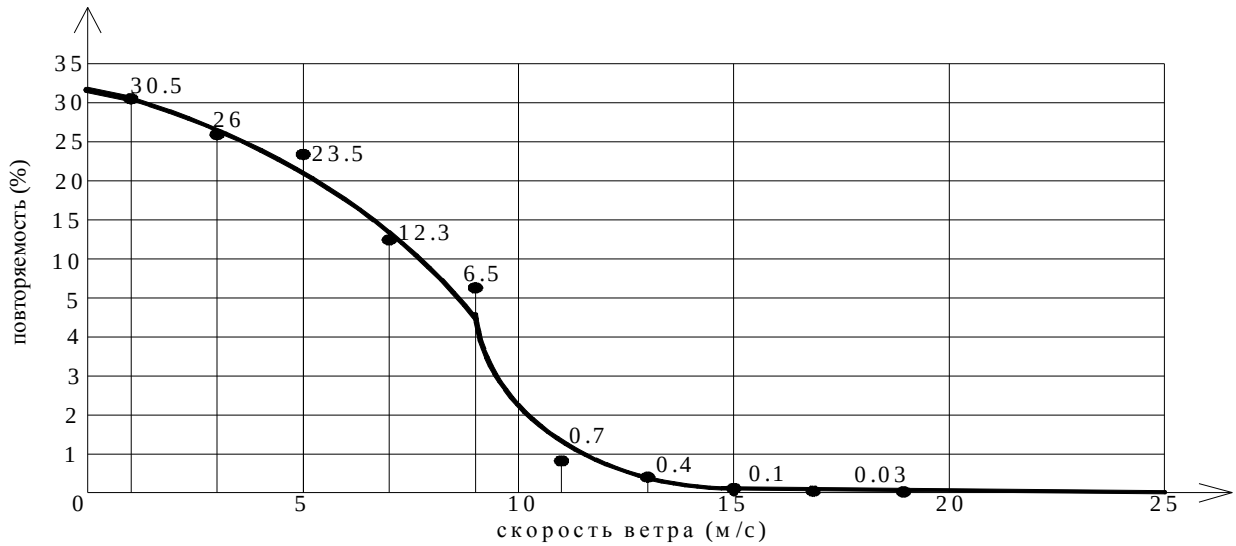


Рис. 6. Повторяемость (в %) различных градаций скорости ветра в г. Казани за год

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$x := \mathrm{runif}(52560, 0, 100)$

$x =$

	0
0	0.127
1	19.332
2	58.501
3	35.031
4	82.284
5	17.413
6	71.05
7	30.399
8	9.141
9	14.731
10	98.851
11	11.908
12	0.892
13	53.166
14	60.176
15	16.625

$i := 0..52559$

$$z_i := \begin{cases} z_i \leftarrow x_i \cdot \dfrac{0.25}{30.5} & \text{if } x_i < 30.5 \\ z_i \leftarrow 0.25 + \left[0.75 \cdot \dfrac{(x_i - 30.5)}{26}\right] & \text{if } 30.5 \le x_i < 56.5 \\ z_i \leftarrow 1 + \left[1.25 \cdot \dfrac{(x_i - 56.5)}{23.5}\right] & \text{if } 56.5 \le x_i < 80 \\ z_i \leftarrow 2.25 + \left[1.75 \cdot \dfrac{(x_i - 80)}{12.3}\right] & \text{if } 80 \le x_i < 92.3 \\ z_i \leftarrow 4 + \left[2.25 \cdot \dfrac{(x_i - 92.3)}{6.5}\right] & \text{if } 92.3 \le x_i < 98.8 \\ z_i \leftarrow 6.25 + \left[2.75 \cdot \dfrac{(x_i - 98.8)}{0.7}\right] & \text{if } 98.8 \le x_i < 99.5 \\ z_i \leftarrow 9 + \left[3.25 \cdot \dfrac{(x_i - 99.5)}{0.4}\right] & \text{if } 99.5 \le x_i < 99.9 \\ z_i \leftarrow 12.25 + \left[17.75 \cdot \dfrac{(x_i - 99.9)}{0.1}\right] & \text{if } 99.9 \le x_i \le 100 \end{cases}$$

Нормативный ветровой напор.

$z =$

	0
0	$1.04 \cdot 10^{-3}$
1	0.158
2	1.106
3	0.381
4	2.575
5	0.143
6	1.774
7	0.249
8	0.075
9	0.121
10	6.45
11	0.098
12	$7.314 \cdot 10^{-3}$
13	0.904
14	1.196
15	0.136

Рис. 7. Программа моделирования ветрового напора с интервалом 10 минут в течение года

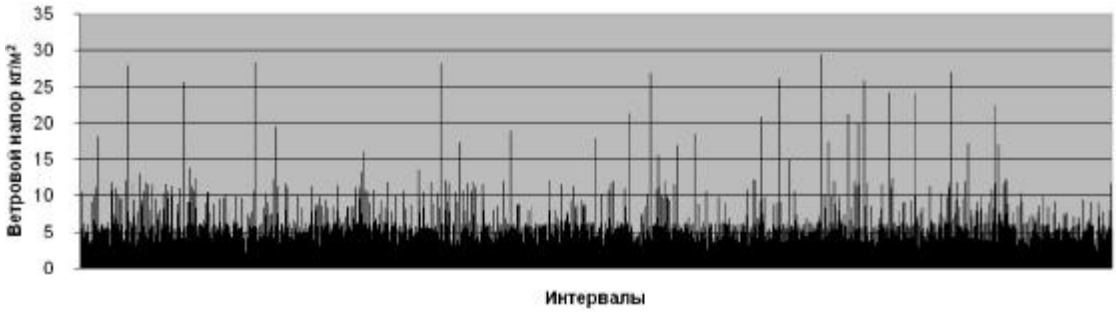


Рис. 8. Результаты моделирования ветрового напора с интервалом 10 минут в течение года

Полученные результаты моделирования ветрового напора с интервалом 10 минут показывают, что число дней со скоростью ветра более 14 м/с составляет 28 дней, в то время как статистические данные показывают, что в среднем таких дней в году 10.

Откорректируем продолжительность интервала моделирования, приняв его равным 30 минутам, что лучше соответствует среднему периоду изменчивости скорости ветра. Результаты моделирования ветрового напора с интервалом 30 минут в течение года приведены на рис. 9.

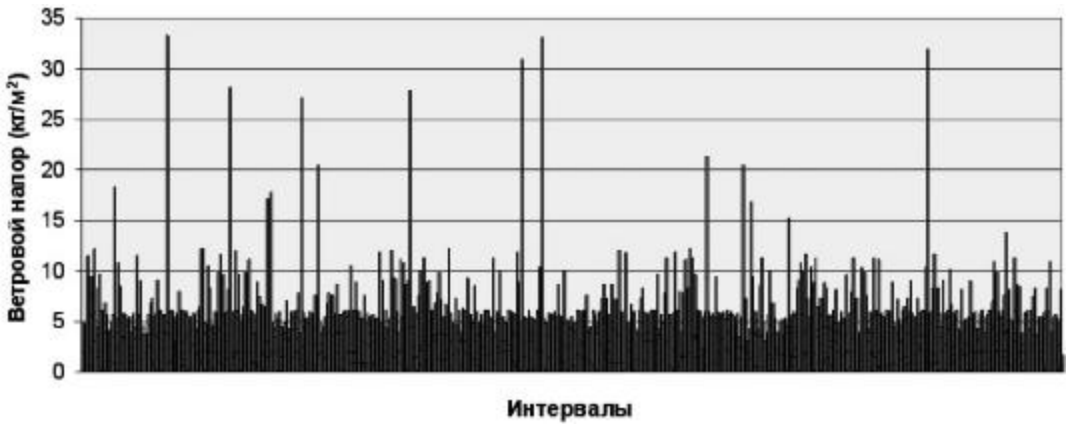


Рис. 9. Результаты моделирования ветрового напора с интервалом 30 минут в течение года

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Результаты моделирования ветрового напора с интервалом 30 минут показывают, что число дней со скоростью ветра более 14 м/с составляет 13 дней, что в лучшей степени соответствует статистическим данным метеонаблюдений.

Выполним статистическое моделирование ветрового давления вторым методом, с использованием распределений Вейбулла [6].

$$F(V) = \exp[-(\frac{V}{h})^a], \tag{3}$$

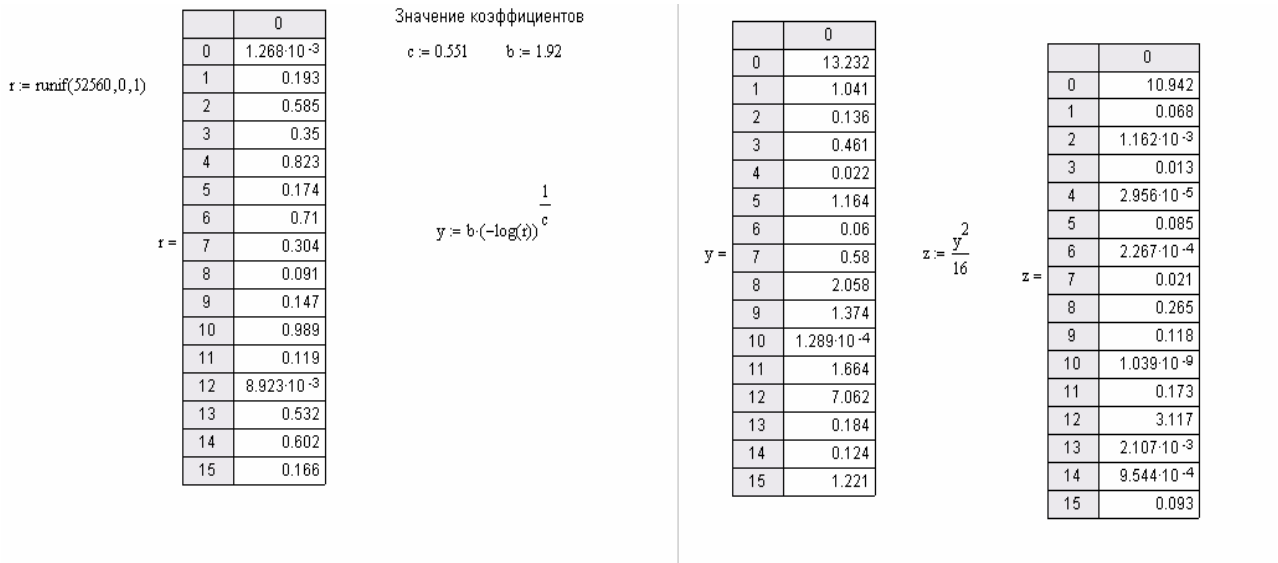
$$F(V) = \exp[-l V^b], \tag{4}$$

где a, b, h, l – коэффициенты, определенные в зависимости от ветрового района территории, приведены в работе [4].

Для генерации случайных чисел с использованием распределений Вейбулла необходимо предварительно получить их обратные функции: $V = h(-\log(r))^{1/a}$, $V = [1/\ l\ \ln(1/(1-r))]^{1/b}$,

где r есть случайное число, получаемое равномерным распределением на интервале (0,1).

Программа и результаты численного моделирования с использованием распределений Вейбулла представлены на рисунках 10-11.



	0
0	$1.268 \cdot 10^{-3}$
1	0.193
2	0.585
3	0.35
4	0.823
5	0.174
6	0.71
7	0.304
8	0.091
9	0.147
10	0.989
11	0.119
12	$8.923 \cdot 10^{-3}$
13	0.532
14	0.602
15	0.166

	0
0	13.232
1	1.041
2	0.136
3	0.461
4	0.022
5	1.164
6	0.06
7	0.58
8	2.058
9	1.374
10	$1.289 \cdot 10^{-4}$
11	1.664
12	7.062
13	0.184
14	0.124
15	1.221

	0
0	10.942
1	0.068
2	$1.162 \cdot 10^{-3}$
3	0.013
4	$2.956 \cdot 10^{-5}$
5	0.085
6	$2.267 \cdot 10^{-4}$
7	0.021
8	0.265
9	0.118
10	$1.039 \cdot 10^{-9}$
11	0.173
12	3.117
13	$2.107 \cdot 10^{-3}$
14	$9.544 \cdot 10^{-4}$
15	0.093

Рис. 10. Программа для моделирования ветрового напора законом распределения Вейбулла

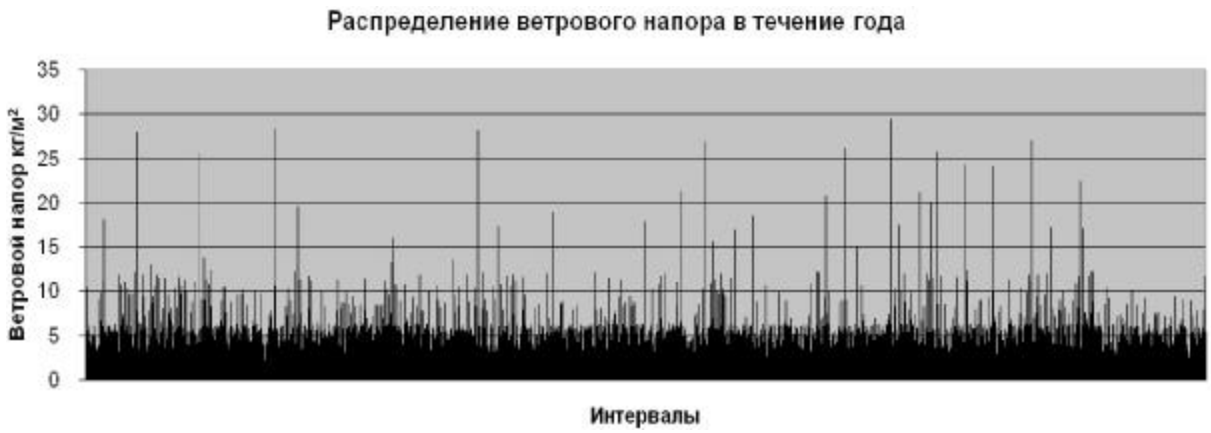


Рис. 11. Гистограмма результатов моделирования ветрового напора законом распределения Вейбулла

Сравнение реальных метеорологических наблюдений с полученными результатами моделирования ветровой нагрузки за 20 лет и за 100 лет приведены в таблице 6.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 6

Наименование параметра	Статистическое моделирование за 20 лет		Статистическое моделирование за 100 лет		Результаты наблюдений метеостанции г. Казань за 58 лет
	Нормальное распр.	Вейбулла распр.	Нормальное распр.	Вейбулла распр.	
Максимальная скорость ветра (м/с)	28.1	32.3	29.77	35.2	28-30
Максимальный ветровой напор (кг/м^2)	49.4	65.4	55.4	77.4	49-56
Количество случаев со скоростью более 27 м/с	5 случаев (50 мин.)	9 случаев (90 мин.)	16 случаев (160 мин.)	23 случая (230 мин.)	2 случая за 2007 и 2008 гг. (60 мин.)

Моделирование направления ветра осуществлено с использованием статистических данных по повторяемости направлений ветра (табл. 5, рис. 1). Суть моделирования состоит в том, чтобы все сгенерированные числа, в интервале от 0 до 100, равномерно разделить на процентные отрезки, согласно таблице 5, и каждому отрезку задать своё направление. Результаты моделирования направления ветра за год (всего 52560 случаев) с 10 минутным интервалом осреднения представлены в таблице 7.

Таблица 7

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Количество случаев, согласно статическому моделированию	5189	3767	4246	6410	11094	6423	8912	6519
Количество случаев, согласно метеонаблюдениям	5256	3680	4204	6482	11038	6482	8936	6482

Выводы:

Разработаны алгоритмы метода Монте-Карло для статистического моделирования ветрового напора для территории г. Казани. По результатам тестовых решений выбраны параметры моделирования, отражающие в наиболее адекватном виде статистические данные 56-летних метеонаблюдений скорости ветров местной метеостанции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Windstorm Import Reduction Implementation Plan // A Report of National Science and Technology Council, April, 2006. – 30 pp.
2. Пособие к СНиП II-23-81* по проектированию стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 250.
3. Руководство по расчёту зданий и сооружений на воздействие ветра. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 218.
4. СТО 36554501-015-2008. Нагрузки и воздействия. – М.: Стройиздат, 2008. – С. 49.
5. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействия ветра на здания и сооружения. Перевод с англ. Б.Е. Масловой, А.Е. Швецовой; Под ред. Б.Е. Маслова. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 360.
6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2003. – С. 56.
7. Метеорологический ежемесячник. Ч. II. – Л.: Гидрометеоиздат, 1950, вып. 1-34.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, Части 1-12, вып. 12. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С. 610.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.012.82
Б.С. Соколов – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН
E-mail: sokolov@kgasu.ru
А.Б. Антаков – кандидат технических наук, доцент
К.А. Фабричная – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАДОК ИЗ ПУСТОТЕЛОГО КИРПИЧА 1,4 НФ С ТЕРМОВКЛАДЫШЕМ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВАХ

АННОТАЦИЯ
В статье приведены результаты исследований каменных кладок из пустотного керамического кирпича с термовкладышем в горизонтальных растворных швах, улучшающих теплотехнические свойства конструкций. Целью исследований является разработка методики расчета на основе теории силового сопротивления анизотропных материалов при сжатии.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каменная кладка, прочность, пустотный керамический кирпич, термовкладыш, теория.

B.S. Sokolov – doctor of technical science, professor, corresponding member of the RAACS
A.B. Antakov – candidat of technical science, associate professor
K.A. Fabrichnaya – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering

RESEARCH OF HOLLOW BRICK MASONRY WITH THERMAL INSULATION IN MORTAR BED

ABSTRACT
In this article researches of hollow ceramic brick masonry with the thermo insulation in mortar bed improving thermo resistance of structures are resulted. The purpose of research is working out a design procedure, based on the theory of power resistance of anisotropic materials at compression.
KEYWORDS: masonry, strength, hollow ceramic brick, thermal insulation, the theory.

При кладке наружных стен, кроме обеспечения несущей способности, выдвигается еще одно важное требование – высокое термическое сопротивление. Этим требованиям соответствуют производимые с недавнего времени на предприятиях РТ керамические пустотелые кирпичи и камни, отличающиеся достаточно высокими прочностными и теплотехническими показателями. При кладке, как правило, применяется обычный цементно-песчаный раствор, однако его технические тепловые показатели в несколько раз хуже, чем свойства самих кирпичей и блоков, поэтому их сочетание в кладке приводит к значительному снижению теплоизоляционных свойств ограждающей конструкции.

Негативное воздействие обычного кладочного раствора можно снизить несколькими способами:

1. Пониженный расход раствора за счет применения специальной конструкции кирпичей паз-гребень;
2. Использование легкого (теплоизоляционного) кладочного раствора;
3. Использование прерывистого постельного шва.

Первый способ реализован во всей номенклатуре кирпичных блоков Поротерм, выпускаемых заводом ООО «Винербергер Кирпич» в Куркачах.

Второй способ – применение легких растворов с добавлением перлита является оптимальным по мнению производителей пустотной керамики [1-3]. При сопоставимости коэффициента теплопроводности легкого раствора с аналогичным показателем камней, при отсутствии диффузии водных паров в постельных швах кладка не дает трещин по швам. По термическим свойствам легкие растворы были разделены в Германии на 2 группы, получившие обозначение ЛМ 21 и ЛМ 36. Растворы группы ЛМ 36 улучшают термическое сопротивление кладки примерно на 10 %, растворы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

группы ЛМ 21 примерно на 17 % по сравнению с кладкой на обычном цементно-песчаном растворе [2]. Основными недостатками данного способа являются невысокие марки по прочности и значительная стоимость существующих легких растворных смесей.

Третий способ – прерывный постельный шов может применяться для всех видов кирпича и камня и достигается тем, что в горизонтальном шве обычный раствор один или два раза прерывается воздушным пространством шириной от 30 до 50 мм. Такая конструкция шва увеличивает термическое сопротивление кладки на 3-5 %, однако значительно снижает ее несущую способность. Данные производителей [2] свидетельствуют о том, что при толщине кладки 380 мм наличие двух пустот шириной 50 мм снижает несущую способность кладки на 25 %. Для повышения термического сопротивления кладки, выполненной этим способом, возможно введение в пустоты горизонтального растворного шва специальных термовкладышей из теплоэффективных материалов.

Применение перечисленных способов для повышения теплоизоляционных свойств каменной кладки несущих наружных стен сдерживается отсутствием в нормативных документах соответствующих рекомендаций. В СНиП [4, 5] содержатся данные для проектирования кладок, выполненных на тяжелых растворах со сплошным заполнением растворного шва.

Для восполнения подобного пробела в лаборатории кафедры ЖБиКК КазГАСУ в 2009 году проведены комплексные исследования кладки из пустотелых керамических кирпичей формата 1,4 НФ, соответствующих ГОСТ 530-2007 [6] и ТУ 5741-001-72646104-2008 [7], производимых заводом «Ключищенская керамика» ЗАО «ФОН». Целью проведения исследований являлась разработка методики расчета кладок на основе теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию для использования при проектировании зданий. Программа исследований предусматривала два этапа, последнему из которых посвящена данная статья.

На первом этапе была проведена оценка прочностных характеристик материалов [8], получены опытные значения трещинообразующих, разрушающих нагрузок и определены значения временных сопротивлений сжатию для образцов из сплошных кладок. Результаты испытаний использованы для разработки методики расчета данных кладок на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающей характер и физические параметры разрушения кладки и показавшей удовлетворительную сходимость результатов [9].

Целью проведения исследований на втором этапе являлась разработка методики расчета по прочности при центральном сжатии кладок, с неоднородным заполнением горизонтального растворного шва, соответствующих современным теплотехническим требованиям для использования в проектировании зданий.

Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

- изготовлены опытные образцы кладки из двух видов кирпича;
- проведены испытания образцов кладки, для определения ее физико-механических свойств: прочности, трещинообразующих и разрушающих нагрузок;
- обработаны результаты испытаний для получения фактического значения прочности кладок на центральное сжатие;
- проведено сопоставление прочности и деформативности ранее испытанной сплошной кладки (серии 1, 2 – 1 этап исследований) и кладки с термовкладышем (серии 3, 4, 5, 6 – 2 этап исследований) для выявления влияния термовкладыша на ее физико-механические свойства;
- произведено уточнение методики расчета.

Для изучения прочностных и деформационных свойств кладки с термовкладышами испытаны 4 серии каменных столбов, отличающиеся видом кирпича и прочностью раствора (табл. 1). При изготовлении образцов кладки в каждом ряду укладывалась стеклопластиковая сетка для предотвращения попадания раствора в пустоты и термовкладыш (рис. 1 а). Ширина термовкладышей из вспененного пенополиэтилена, укладываемых в центральной зоне вдоль большей стороны сечения, в соответствии с техническим заданием, составила 140 мм, толщина – 6 мм. Площадь термовкладышей составила 56 % от поперечного сечения кладки.

Испытания образцов кладки на центральное сжатие в возрасте 30-33 дней производились на гидравлическом прессе ИПС–200. Для измерения продольных и поперечных деформаций кладки на боковые поверхности образцов устанавливались мессуры с индикаторами часового типа (рис. 1б).

В ходе испытаний образцов кладки определены величины продольных и поперечных деформаций кладки трещинообразующих и разрушающих нагрузок, зафиксирован характер разрушения образцов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

Основные характеристики серий образцов

№ серии	Кол-во образцов	Размеры образцов, мм	Материалы кладки		Наличие термовкладыша
			Кирпич	Раствор	
1	2	380×250×(1000±50)	ГОСТ530-2007 [6]	М100	нет
2	2	- « –	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	М100	нет
3	2	- « –	ГОСТ530-2007[6]	М100	есть
4	2	- « –	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	М100	есть
5	2	- « –	ГОСТ530-2007 [6]	М25	есть
6	2	- « –	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	М25	есть

а) *б)*

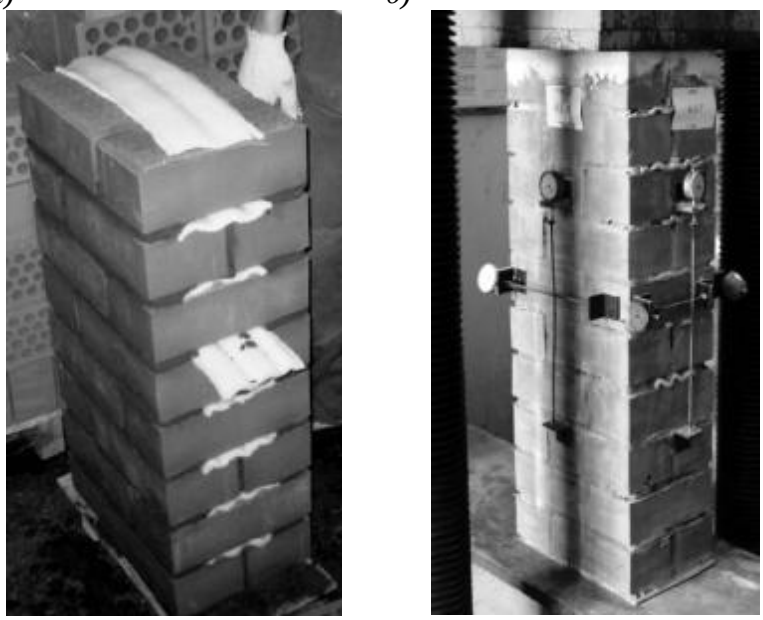


Рис. 1. Опытные образцы серий 3 (*а*) и 6 (*б*) на стадии изготовления и подготовленные к испытаниям

По полученным экспериментальным данным вычислены ранее отсутствовавшие и необходимые для проектирования значения временных и расчетных сопротивлений кладок, причем напряжения соответствующие $R_{u,cp}^{нетто}$, то есть воспринимаемые сечением кладки за минусом площади, занятой термовкладышем (рис. 2).

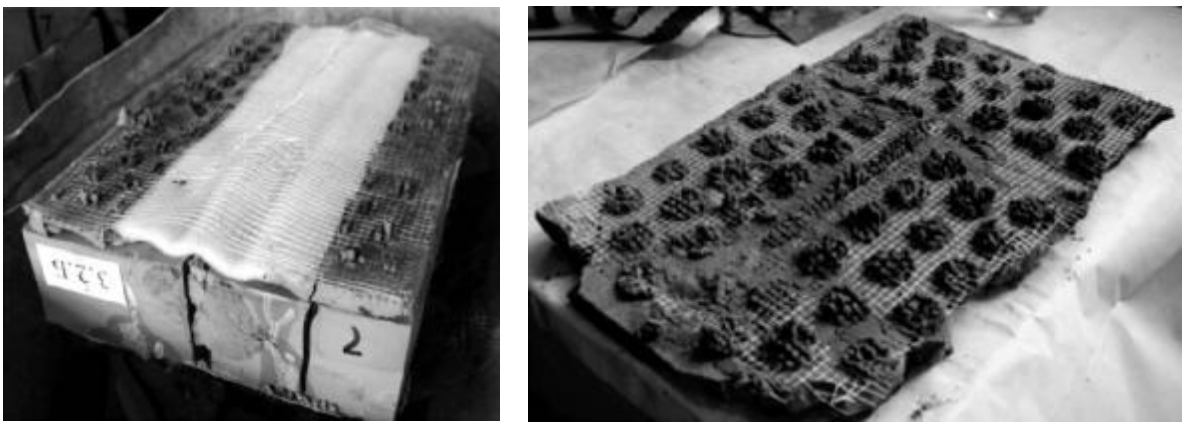


Рис. 2. Вид заполнения горизонтального растворного после испытаний:
а) при использовании сетки и термовкладыша (серии 3-6);
б) при использовании сетки (серии 1-2)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В таблице 2 приведены средние значения трещинообразующих, разрушающих нагрузок и сопротивлений кладок, вычисленных по площади горизонтальных растворных швов.

Таблица 2

Результаты испытаний серий образцов с термовкладышами

№ серии	Среднее значение трещинообразующей нагрузки N_{crc}, кН	Среднее значение разрушающей нагрузки $N_{разр}$, кН	Среднее значение временного сопротивления кладки $R_{u,cp}$, МПа
3	47,5	159,5	3,8
4	52,5	137,5	3,27
5	50	120	2,85
6	42,5	101	2,40

Впервые для кладок с термовкладышами получены зависимости временной прочности кладки от марки раствора (рис. 3).

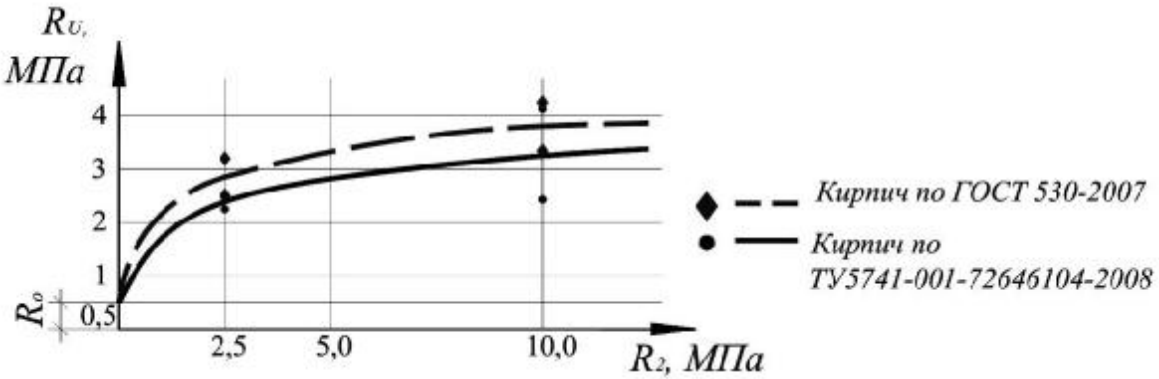


Рис. 3. Зависимости «R_u-R_2» для кладок с термовкладышами

При сопоставлении результатов испытаний серий 1, 3 и 2, 4 соответственно, получены аналитические зависимости для определения временного и расчетного сопротивлений сжатию кладок на растворе марки М100 с использованием термовкладыша с площадью, составляющей 56 % от общего сечения элемента:

для кирпича по ГОСТ 530-2007 [6] – $R_{терм} = 0{,}51 \times R$,

для кирпича по ТУ5741-001-72646104-2008 [7] – $R_{терм} = 0{,}5 \times R$,

где $R_{терм}$ – сопротивление сжатию кладки с термовкладышем в горизонтальном шве;

R – сопротивление сжатию кладки со сплошным швом [9].

Исследован характер трещинообразования и разрушения образцов различных серий, примеры для образцов с термовкладышами представлены на рис. 4.

Как видно из рисунков, в средней зоне по меньшей стороне сечения сжатого элемента возникают и развиваются продольные трещины, разделяющие элемент на три части, затем происходит смещение приопорных трехосносжатых областей с раздавливанием материалов кладки в ядре сечения, выделяемом трещинами. Разрушение, сопровождаемое нарастающими продольными деформациями, происходит от потери устойчивости фрагментов элемента, выделенных продольными трещинами.

Видимые трещины возникают при нагрузках, составляющих 0,3-0,5 от разрушающих, и развиваются по границам термовкладышей (рис. 4). Установлено, что трещиностойкость кладки с термовкладышем значительно ниже, чем у сплошной кладки, составляющей $N_{crc} \approx 0{,}6 - 0{,}7\ N$ [9].

Изучение характера разрушения опытных образцов показало, что в целом он соответствует физической модели разрушения анизотропных материалов при сжатии. Полученные данные

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

использованы для разработки методики расчета каменных кладок с учетом наличия термовкладыша с использованием выражений расчетного аппарата теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию [10-13].

Расчет по прочности при симметричной установке вкладыша относительно сечения конструкции проводят из условия:

$$N \le N_{ult} = 2[(N_t \cos a + N_{sq}) / \sin a + N_{ef}], \quad (1.1)$$

где N – продольное усилие от внешних расчетных нагрузок;

N_{ult} – несущая способность элемента, являющаяся суммой из несущей способности двух столбиков кладки, разделенных термовкладышем,

N_{sq}, N_{ef},, N_t – усилия, воспринимаемые кладкой соответственно в зонах сдвига, раздавливания и растяжения;

б – угол наклона граней клина к плоскости грузовой площадки.

а *б*

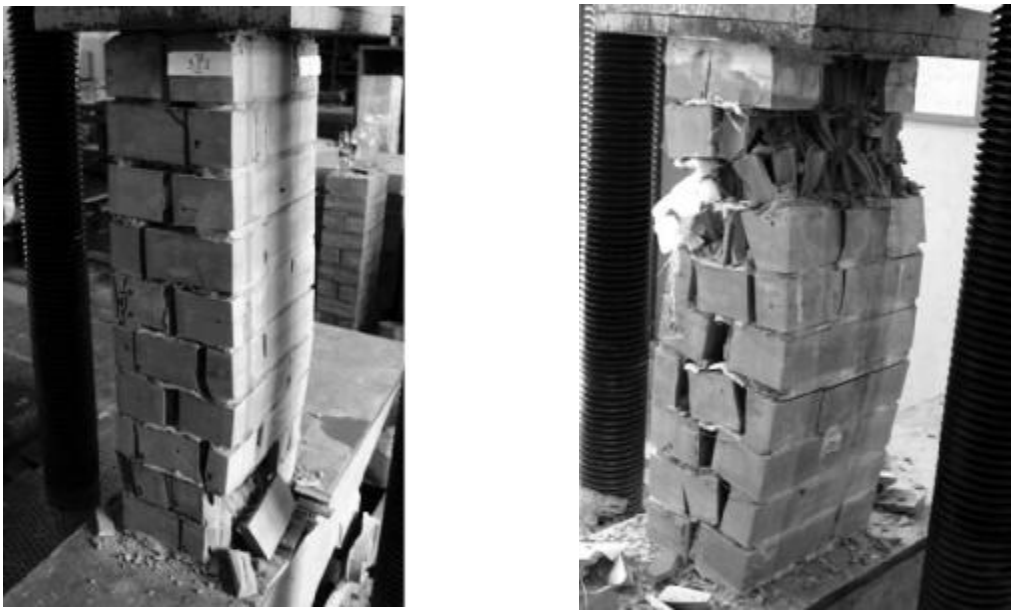


Рис. 4. Характерные особенности разрушения образцов. Наличие податливого вкладыша провоцирует концентрации напряжений на границе срез и изгибно-сдвиговые повреждения кирпичей (а, б)

Усилия, воспринимаемые кладкой, определяются по следующим формулам:

$$N_{sq} = R_{sq} A_{sq}, \quad (1.2)$$

$$N_{ef} = R_{ef} A_{ef}, \quad (1.3)$$

$$N_t = R_t A_{bt}, \quad (1.4)$$

где R_{sq}, R_t – расчетное сопротивление кирпича сдвигу (срезу) и растяжению;

R_{ef} – временное сопротивление кладки сжатию, определенное по табл. 2 [4];

A_{sq}, A_{ef}, A_{bt} – площади соответственно сдвига (среза), раздавливания и отрыва.

Расчетные площади столбиков определяются с вычетом площади термовкладыша по формулам:

$$A_{sq} = (a - t) / 2 \cdot b \cdot (1 + \sin^2 a) \cdot \cos a \quad (1.5)$$

$$A_{ef} = (a - t) / 2 \cdot b \cdot \sin^4 a \quad (1.6)$$

где a, b – меньший и больший размеры сечения столба соответственно,

t – ширина термовкладыша.

Площадь поверхности растяжения определяется с учетом разности сторон и перевязки кирпичей (рис. 5) в сечении по формулам:

$$A_{bt} = 2A_{t1} + 2A_{t2}, \quad (1.7)$$

$$A_{t1} = (h - b \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot a / 2, \quad (1.8)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$A_{t2} = (h - a \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot b / 3. \quad (1.9)$$

Учитывая то, что величина сопротивления кирпича растяжению на несколько порядков ниже других параметров, входящих в формулу 1.1, значением N_t можно пренебречь, таким образом, формула 1.1 приобретает следующий вид:

$$N \le N_{ult} = 2(N_{sq} / \sin a + N_{ef}). \quad (1.10)$$

Расчет по образованию трещин следует выполнять по условию:

$$N \le N_{crc} = N_t \cdot ctg a, \quad (1.11)$$

где N_t определяется по формуле 1.4.

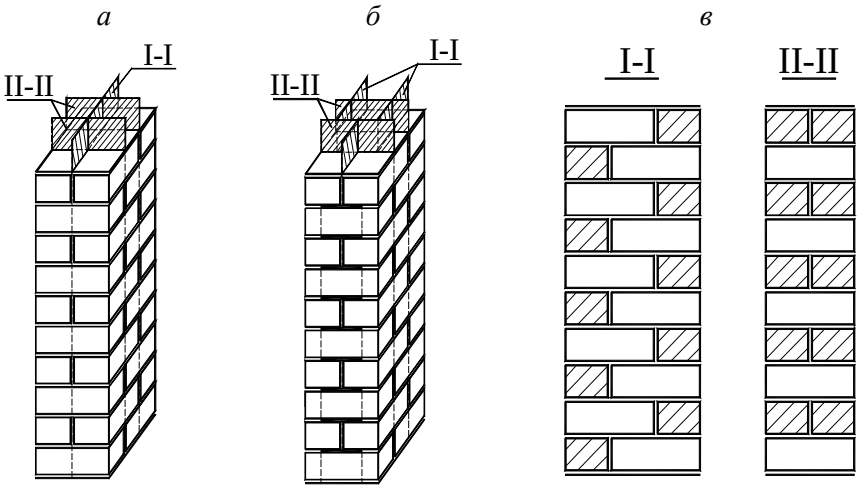


Рис. 5. Плоскости отрыва в каменном столбе с размерами 25Ч38Ч105 см со сплошным швом (а) и с термовкладышем (б), рабочие зоны плоскостей показаны штриховкой (в)

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов несущей способности

Номер серии	$N_{разр}$, кН	$N_{снип}/N_{разр}$	$N_{модель}/N_{разр}$
3	159.5	1.245	0.855
4	137.5	1.19	0.96
5	120	1.11	0.97
6	101	1.04	1.08

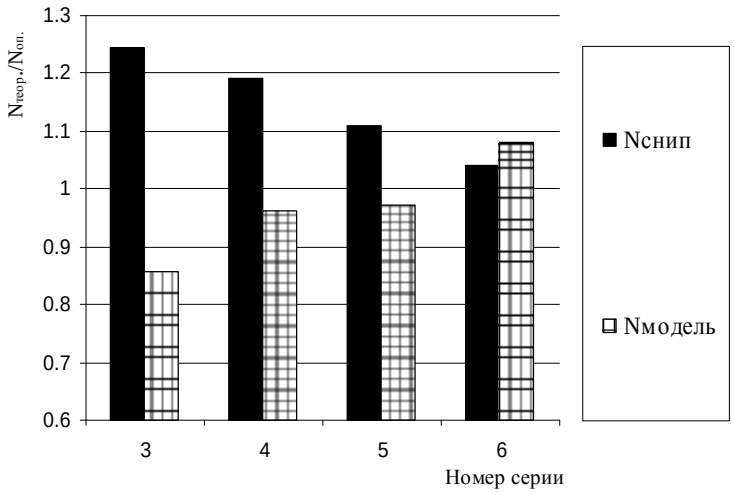


Рис. 6. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сопоставление опытных данных несущей способности испытанных образцов и теоретических значений, полученных по представленной методике и определенных по СНиП [4, 5], приведено в табл. 4 и на рис. 6.

Выводы

Впервые проведены исследования прочности кладок из кирпича 1,4 НФ, выпускаемого заводом «Ключищенская керамика» по [6, 7] с использованием специальной конструкции шва с термовкладышем. Получены данные, необходимые для проектирования конструкций зданий и сооружений с применением данной конструкции шва. Установлено, что введение термовкладышей оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние и характер разрушения кладки, вызывая снижение величины сопротивления кладки сжатию вдвое по сравнению с кладкой с однородным растворным швом.

Разработана методика расчета кладок с термовкладышами на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающая характер и физические параметры разрушения кладки. Сравнение опытных значений и данных, полученных по представленной методике, показало их удовлетворительную сходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические решения стеновых конструкций жилых зданий с применением керамических поризованных пустотелых камней // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко филиал ФГУП НИЦ «Строительство». – М., 2009.
2. Типовые узлы POROTERM // Wienerberger Building Value: 2010 URL: http://www.wienerberger.ru/servlet/Satellite?pagename=Wienerberger/WBArticle/ArticleStandard05&cid=1160387304304&sl=wb_ru_home_ru&lpi=1129717374068 (дата обращения 21.04.2010).
3. Рекомендации по проектированию наружных стен толщиной 640 мм для жилых и общественных зданий из керамических изделий производства ЗАО "Победа ЛСР" // Континент: 2005 URL: http://www.kkontinent.ru/info/articles/2.html (дата обращения 21.04.2010).
4. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования // Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
5. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
6. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
7. ТУ5741-001-72646104-2008. Кирпич пустотный керамический. Технические условия.
8. Фабричная К.А. Исследования прочностных характеристик пустотелых кирпичей 1,4 НФ, изготовленных заводом «Ключищенская керамика» // Сборник научных трудов КазГАСУ. – Казань, 2009. – С. 41-45.
9. Соколов Б.С., Антаков А.Б., Фабричная К.А. Исследования кладок из пустотелого кирпича 1,4 НФ // Известия КазГАСУ, 2009, № 2(12). – С. 134-139.
10. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 39-42.
11. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии // Известия вузов. Строительство, 2002, № 9. – С. 4-9.
12. Каменные и армокаменные конструкции. Автоматизированный учебный комплекс. Для специальностей 270102, 270106 / Казанский государственный архитектурно-строительный университет; Составители Соколов Б.С., Антаков А.Б. – Казань, 2007. – 96 с.
13. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования каменных кладок, усиленных стальными обоймами. – Тольятти, 2009. – С. 167-173.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 539.415
А.Н. Драновский – кандидат технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
А.И. Латыпов – ассистент
E-mail: airatlat@mail.ru
Казанский государственный университет

К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается проблема интерпретации результатов статического зондирования в тех случаях, когда обнаруживается неоднозначная зависимость между сопротивлением погружению зонда и глубиной зондирования. Предложен подход к объяснению механизма погружения с точки зрения возникновения автоколебательного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статическое зондирование, зонд, грунт, испытание, автоколебания.

A.N. Dranovskiy – candidate of the technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
A.I. Latypov – assistant
Kazan State University

TO INTERPRETATION OF RESULTS OF STATIC SOUNDING OF THE SOIL BASES

ABSTRACT

In work is found out the problem of interpretation of results of static sounding is considered when ambiguous dependence between resistance to immersing of a probe and depth of sounding. The approach to an explanation of the mechanism of immersing is offered from the point of view of occurrence of self-oscillatory process.

KEYWORDS: static sounding, sound, soil, test, self-oscillations.

В настоящее время зондирование является наиболее перспективным методом инженерной геологии, так как позволяет исследовать грунтовый массив на большую глубину в условиях естественного залегания при сравнительно небольших материальных затратах.

Несмотря на очевидную эффективность, отношение к методу зондирования различных специалистов неоднозначное. Это связано в первую очередь с тем, что параметры зондирования достаточно трудно связать аналитически с характеристиками грунтов, например, механическими, полученными в результате штамповых или сдвиговых испытаний. Кроме того, существует достаточно большой разброс значений определяемых характеристик из-за больших погрешностей определения параметров зондирования.

Основными измеряемыми параметрами согласно ГОСТ 19912-2001 являются удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_c; общее сопротивление грунта на боковой поверхности Q_s (для зонда типа I) и удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда f_s (для зонда типа II).

В последнее время количество параметров, регистрируемых в процессе зондирования, возросло. Например, наиболее современные установки статического зондирования позволяют регистрировать, кроме сопротивления грунта конусу зонда q_c и боковой поверхности f_s, также нормальное давление у, объемную влажность грунта щ, поровое давление P, плотность грунта с, температуру грунтов t, электрическое сопротивление R и др.

Регистрация этих параметров позволила значительно увеличить информацию о физико-механических свойствах грунтов.

При зондировании наиболее актуальными являются два вопроса, существенным образом влияющие на величины конечных характеристик.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Во-первых, выбор системы регистрации измеряемых параметров.

Различными экспериментаторами отмечалось, что при зондировании одного и того же грунтового массива разница между получаемыми результатами, в зависимости от применяемой системы регистрации, может быть весьма значительной.

Для получения информации о свойствах изучаемых грунтов при статическом зондировании используют либо механические, либо электронные системы регистрации.

В качестве механических регистрирующих устройств на установках конструкции Фундаментпроект (С-978, СП-36, СП-56), конструкции ПНИИИС и др. используют манометры и динамометры. Более современные конструкции установок статического зондирования (С-832, С-832м, СПК СПКС) снабжены электронными системами регистрации.

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что при механической регистрации в процессе погружения зонда стрелка индикатора, например динамометра, имеет достаточно широкий диапазон колебаний. Тоже относится и к манометрам. Это затрудняет фиксацию показаний, поэтому ряд установок стал снабжаться различными демпфирующими устройствами, резко снижающими колебания стрелок. Однако это привело к тому, что регистрирующие системы стали значительно запаздывать за изменениями изучаемых параметров.

Что касается электронных систем регистрации, то они имеют заданную постоянную времени переходного процесса, что позволяет получать относительно гладкие кривые графиков зондирования.

Б.И. Кулачкиным в работе [1] был поставлен интереснейший эксперимент зондирования одной и той же площадки г. Днепропетровска тремя различными способами регистрации.

На рис. 1 изображены диаграммы, полученные электронной системой регистрации с выходом на осциллограф Н-115 (сплошная тонкая ломаная линия); электронной системой регистрации с выходом на самописец Н-390 (пунктирная линия) и механической системой регистрации с выходом на динамометр (сплошная толстая ломаная линия).

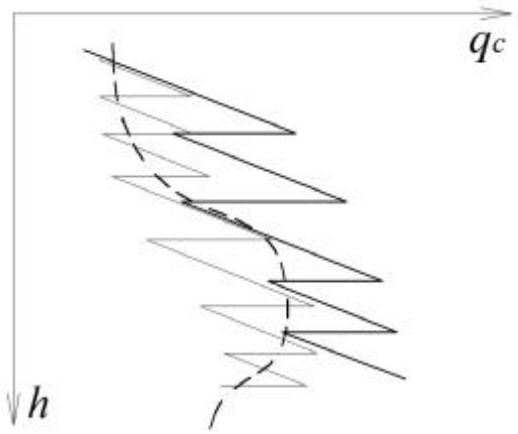


Рис. 1. Диаграммы сопротивления конусу зонда q_c при различных системах регистрации

Как видно, значения всех трех видов регистрации параметра q_c отличаются друг от друга.

Наиболее объективными являются электронная система регистрации с выходом на осциллограф и механическая система с выходом на динамометр.

Из приведенного рисунка видно, что перемещения зонда происходят дискретно, т.е. имеют место скачки регистрируемого сопротивления погружению. Причем характер диаграммы полностью аналогичен диаграмме автоколебательного разрушения грунта в запредельной стадии деформирования, полученной нами при лабораторных испытаниях песчаных образцов в сдвиговом приборе [2].

Электронная система регистрации с выходом на самописец имеет некоторое запаздывание в записи процесса, что выражается в сглаживании ломаной линии. Диаграмма в этом случае находится в полосе, окаймляющей первую диаграмму зондирования.

Б.И. Кулачкин так объясняет полученный результат: «Зонд в процессе перемещения вначале нагружает грунт, вовлекая при этом в работу определенный объем грунта, растет нагрузка, в определенный момент времени наступает предельное равновесие, происходит разрушение в объеме вовлекаемого в работу грунта, зонд перемещается (проваливается) в пределах разрушенного объема, уменьшается нагрузка. Пройдя зону предельного равновесия, зонд вновь вовлекает в работу новый объем грунта и снова происходит увеличение нагрузки, которая, возрастая, достигает предельного равновесия и т.д.

Таким образом, при наступлении предельного равновесия, грунт начинает разрушаться, причем скорость его разрушения выше скорости перемещения зонда, о чем свидетельствует пилообразная диаграмма нагрузки, причем участки снижения нагрузки скорее характеризуют систему погружения. Поэтому перемещение зонда происходит дискретно, т.е. на участке возрастания нагрузки скорость

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

практически постоянная, поскольку задавливающие устройства имеют, как правило, запас по мощности, а на ветви разгрузки происходит резкое уменьшение нагрузки и зонд как бы проваливается, причем скорость этого перемещения будет зависеть от технических характеристик системы погружения».

Автор отмечает, что все вышесказанное относится также и к регистрации второго параметра зондирования – трения грунта по боковой поверхности зонда.

Вторым, не менее важным, является вопрос интерпретации получаемых результатов трения грунта по лобовой и особенно боковой поверхностям зонда.

В зависимости от конструкции зонды могут быть двух типов: I – с наконечником из конуса и кожуха, и II – с наконечником из конуса и муфты трения.

Зонды I типа позволяют определять лобовое сопротивление грунта и суммарную величину сопротивления трения по боковой поверхности. При этом весьма неоднозначным является вопрос определения величины бокового трения. Г. Санглера [3] отмечает наблюдаемое падение величины бокового трения с глубиной зондирования. По его мнению, это свидетельствует о том, что увеличение бокового трения при проходке пластов может быть меньше, чем уменьшение величины локализованного трения в покровных пластах грунта. Поскольку величина падения трения в верхних пластах неизвестна, то и величина трения во вновь проходимых пластах также остается неизвестной. Поэтому невозможно получить точное представление о роли отдельных проходимых пластов грунта на основании измерения величины бокового трения.

В сравнительно однородных грунтах снижение сопротивления верхних слоев при зондировании обнаружить трудно, так как это снижение перекрывается обычно увеличением общего сопротивления за счет увеличения глубины погружения зонда. Однако при напластовании грунтов различной прочности иногда снижение сопротивления верхних слоев оказывается настолько значительным, что уже не компенсируется вовлечением в работу новых слоев грунта.

Таким образом, измерение трения грунта по боковой поверхности зонда I типа не может быть использовано для определения прочностных характеристик грунтов, так как не дает конкретных численных значений сопротивляемости отдельных слоев.

Этого недостатка лишены зонды типа II с муфтой трения, позволяющей определять удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности.

Тем не менее, применение зонда II типа не всегда дает удовлетворяющие исследователей результаты.

Как уже отмечалось выше, несмотря на ряд очевидных достоинств, метод зондирования в настоящий момент рассматривают в основном как способ уточнения данных бурения и для расчета несущей способности свайных фундаментов, которая определяется как сумма лобового сопротивления и бокового трения.

Для определения физико-механических свойств грунтов используют различные корреляционные зависимости между параметрами зондирования и искомыми характеристиками. Так, существуют методики по определению по значениям q_c плотности, модуля деформации, консистенции глинистых грунтов, угла внутреннего трения ц, сцепления и др.

Ограниченность использования метода статического зондирования для определения физико-механических характеристик грунтов вызвана, прежде всего, отсутствием серьезных и полноценных исследований процесса перемещения зонда в грунте, взаимосвязи зондирования с другими методами испытаний грунтов, а также наличием больших погрешностей при определении параметров зондирования из-за их существенного разброса.

Результаты статического зондирования грунтовых оснований приводятся, как правило, в виде диаграмм зависимостей q_c и f_s от глубины погружения h. При этом получаемые диаграммы имеют вид ломаных линий зачастую с довольно резкими скачками фиксируемых параметров.

Подобная неравномерность связывается большинством исследователей с неоднородностью грунтового основания. Вместе с тем результаты бурения не выявляют обычно подобного чередования прослоев грунта с различными прочностными свойствами.

В качестве примера можно привести исследования, выполненные при статическом зондировании площадки строительства Дворца водных видов спорта в Ново-Савиновском районе г. Казани установкой УЗК-15 (зонд II типа). Зондирование было выполнено в 10 точках.

На рис. 2 представлена диаграмма зондирования в точке статического зондирования №1. Инженерно-геологический разрез площадки приведен в таблице 1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

№ ИГЭ	Характеристика ИГЭ	Мощность, м
НС	Насыпь супесчано-глинистая, с включением строительного мусора	1,5
3в	Суглинок мягкопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	2,8
3б	Суглинок тугопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	1,6
7а	Песок средней крупности водонасыщенный желтовато-коричневый, средней плотности	5,6

В интервале глубины 5,9-11,5м залегает слой песчаного грунта ИГЭ7а со следующими характеристиками: природная влажность 0,18-0,25, плотность с=1,99-2,10 г/см^3, коэффициент пористости е=0,50-0,67, угол внутреннего трения ц=31-36°, модуль деформации Е=28-45 МПа.

По данным инженерно-геологического отчета ОАО «КазТИСИз», в ИГЭ7а не выявлено наличия существенных прослоев и неоднородных включений. Однако как видно из приведенной диаграммы, скачки q_c внутри одного слоя достигают 7-10 МПа, f_s – 80-120 кПа.

При интерпретации данных зондирования в этом случае приходится сталкиваться с определенными трудностями, связанными с определением расчетных значений прочностных характеристик.

Г. Санглера [3] указывает, что когда в обследуемой толще встречается гравий или отдельные камни, или когда толща грунта представляет свиту из прослоек неоднородных грунтов, кривые на графике носят пилообразный характер, что отражает значительные колебания в величине сопротивления грунта по глубине толщи. В этом случае предлагается проводить кривую по нижним точкам, по минимальным полученным значениям сопротивления грунтов.

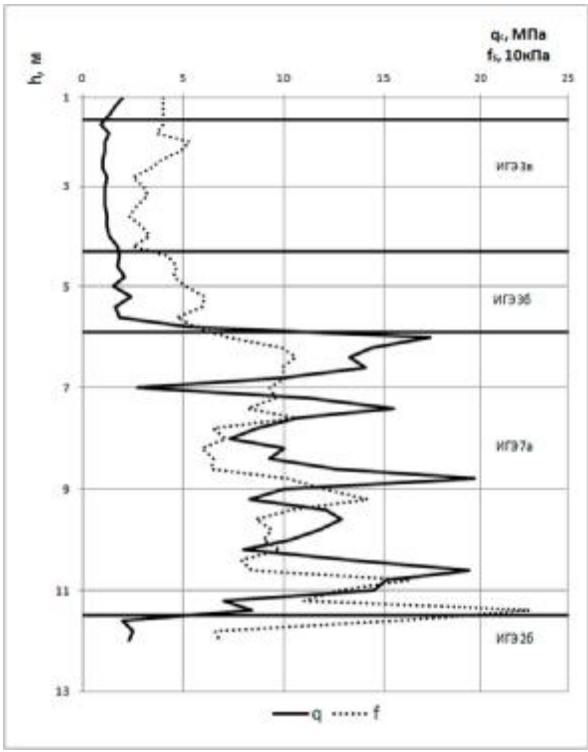


Рис. 2. График статического зондирования в ТСЗ № 1 объекта: Дворец водных видов спорта, г. Казань (— q_c, --- f_s)

Однако, это может привести к значительному занижению определяемых характеристик. Так, подобная обработка данных в вышеприведенном примере приведет к занижению q_c в 2-3 раза, f_s – в 1,5-2 раза по сравнению с пиковыми значениями.

Согласно СП 50-102-2003 при определении несущей способности свай по результатам статического зондирования значение q_c принимается осредненным в пределах одного диаметра выше и четырех диаметров ниже отметки острия сваи, а f_s – средним на боковой поверхности зонда.

Подобный подход не учитывает кинетику процесса перемещения зонда в грунте и поэтому определяемые значения характеристик не имеют физического смысла.

Представляется, что подобные скачки могут быть связаны с появлением автоколебаний системы «зонд-грунт».

В работе [4] показано, что критерий возбуждения автоколебаний определяется соотношением жесткости упругой части системы и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления деформированию грунтового массива.

Жесткость системы определяется в основном жесткостью стержня зонда как функции от его длины (глубины погружения)

$$K = \frac{AE}{l_{ff}} = \frac{\Delta N}{\Delta l}, \qquad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где *Дl* – упругое приращение свободной эффективной длины, соответствующее приращению усилия погружению *ДN*; *A* – площадь сечения стержня; *E* – модуль упругости; l_{ff} – свободная эффективная длина стержня.

Как видно, с увеличением длины зонда его жесткость пропорционально уменьшается. Многочисленные наблюдения при проведении полевых работ свидетельствуют о том, что наблюдаются случаи изгиба стержня зонда при погружении, особенно при прохождении песчаных грунтов. Это связано, прежде всего, с малым по сравнению с длиной диаметром стержня зонда и, как следствие, его высокой гибкостью. По мере роста вдавливающей нагрузки величина изгиба увеличивается, а в системе происходит накопление упругой энергии до некоторого критического значения, после чего зонд с высокой скоростью разгружается, возвращая первоначальную форму равновесия, т.е. происходит переход стержня зонда из неустойчивого состояния в устойчивое. Таким образом, изгиб стержня зонда может служить причиной дискретного характера погружения.

Для проверки данного утверждения в рассматриваемых инженерно-геологических условиях была решена задача по определению величины прогиба стержня зонда.

Решение для стержня жесткостью *K*, работающего в упругом полупространстве с коэффициентом отпора грунта *к(x)* и трением по боковой поверхности *Q(x)*, получено В.М. Улицким и К.Г. Шашкиным [5].

Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня в этом случае будет иметь вид:

$$EIw'^{v}+\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w''-Q(x)w'+k(x)w=$$

$$=-\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w_0''+Q(x)w_0', \qquad (2)$$

где *E* – модуль упругости материала стержня, *I* – момент инерции сечения, *F* – величина действующего усилия, *Q(x)* – сопротивление по боковой поверхности стержня, *к(x)* – коэффициент отпора грунта, принимаемый согласно таблице Д1 Приложения Д СП 50-102-2003, *w* – определяемый прогиб, w_0 – начальное искривление оси стержня.

Решение данного уравнения было запрограммировано М.А. Прыгуновым для различных исходных данных с помощью метода конечных разностей [6].

На рис. 3 приведена полученная с помощью данного алгоритма зависимость прогиба стержня зонда от глубины.

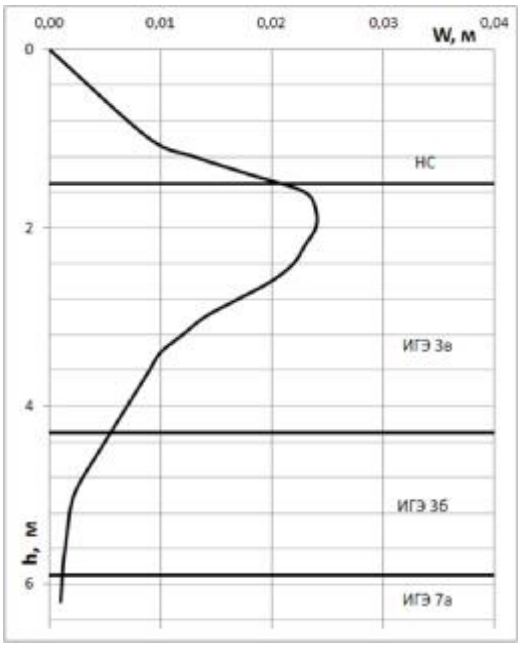


Рис. 3. Зависимость прогиба стержня зонда от глубины

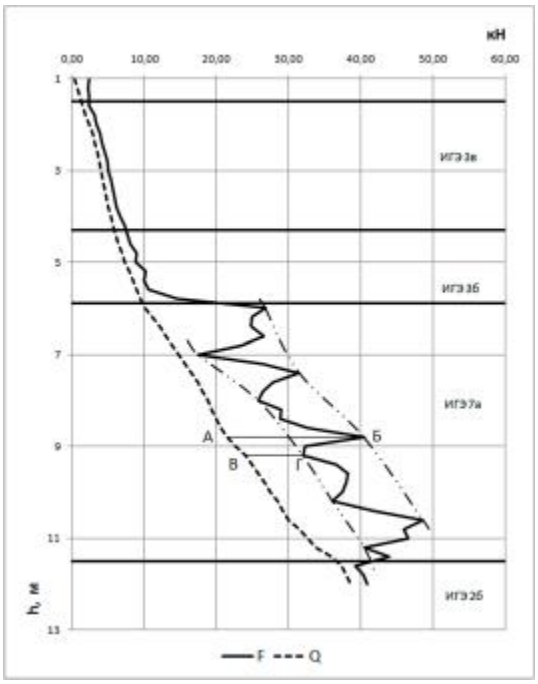


Рис. 4. Диаграмма полного сопротивления погружению зонда (*F*) и сопротивления по боковой поверхности (*Q*) в ТСЗ № 1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В качестве расчетной была принята длина l=5,9 м, соответствующая входу конуса зонда в слой ИГЭ7а. Полное сопротивление погружению в этой точке резко увеличивается до значения F=20 кН (см. рис. 4).

E=215 ГПа (сталь 38ХГС),

$I = \frac{\pi}{64}(d_н^4 - d_{вн}^4) = \frac{\pi}{64}(0{,}036^4 - 0{,}018^4) = 0{,}77 \cdot 10^{-7} м^4$ – момент инерции трубчатого сечения стержня зонда с наружным диаметром $d_н$=36 мм, внутренним $d_{вн}$=18 мм.

Видно, что при прохождении зондом слоя ИГЭ7а в более слабых слоях НС, ИГЭ3в, ИГЭ3б возможно появление продольного изгиба стержня и, как следствие, возникновение автоколебаний системы «зонд-грунт».

Необходимо отметить, что при решении данной задачи одновременно проверялось условие возможной потери устойчивости стержня в грунте, за факт которой принималось превышение сопротивления погружению над значением критической силы

$$P_{cr} = mn2\sqrt{k(x)d_н EI} < F, \quad (3)$$

где m – поправочный коэффициент, учитывающий длину зонда и жесткую заделку верха стержня зонда; n – коэффициент, учитывающий трение по боковой поверхности зонда [6].

$$P_{cr} = 1{,}62 \cdot 1{,}028 \cdot 2\sqrt{2968 \cdot 0.036 \cdot 16{,}555} = 132{,}1 кН > F = 20 кН.$$

Значение критической силы превышает сопротивление погружению в несколько раз, что связано прежде всего с высоким значением коэффициента отпора грунта $k(x)$=2968 кН/м^4.

В данном случае вопрос принятия значения коэффициента отпора является весьма неоднозначным. Дело в том, что процесс погружения зонда и изгиба его стержня является циклическим. Сначала на стержень передается некоторое усилие, которое одновременно с погружением вызывает его изгиб, ограниченный отпором окружающего его грунта. Через некоторый интервал нагрузка снимается для наращивания штанг, что вызывает возвращение стержня в первоначальное прямолинейное состояние. При этом вокруг стержня в грунте образуется полость, и при повторном нагружении изгиб будет происходить на начальной стадии в воздушной среде. С увеличением количества циклов величина полости увеличивается. Очевидно, что значение коэффициента отпора грунта будет зависеть от величины этой полости. Поэтому задачу необходимо рассматривать и решать как задачу возникновения продольного изгиба стержня и возможной потери устойчивости в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба. Исследования в данном направлении продолжаются и в рамках данной статьи не приводятся.

Вывод о дискретности процесса погружения подтверждает приведенная на рис. 4 диаграмма полного сопротивления погружению зонда $F=R+Q$ в рассматриваемой точке статического зондирования ТСЗ № 1.

Как видно, до глубины 5,9 м процесс погружения происходит достаточно равномерно, без существенных колебаний значения сопротивления. Затем, при входе зонда в слой ИГЭ7а, наблюдаются значительные колебания определяемых параметров.

Пунктирной линией показано полное сопротивление по боковой поверхности.

$$Q = u\sum f_{si}h_i, \quad (4)$$

где u – периметр зонда, f_{si} – сопротивление по муфте трения, h_i – мощность i-го слоя грунта.

На полученной диаграмме можно выделить пиковые (точка Б) и минимальные (точка Г) значения сопротивления погружению зонда. Штрихпунктирной линией показаны огибающие максимумов и минимумов.

Таким образом, на глубине h=8,8 м в точке Б реализуется максимальное сопротивление конусу $q_{c,max}= R_{max}/A$, а в точке Г – минимальное $q_{c,min}= R_{min}/A$.

Графически сопротивление под конусом зонда $R=Aq_c$ может быть определено как разница между полным сопротивлением F и общим сопротивлением по боковой поверхности $R=F-Q$, т.е значение R_{max} соответствует участку АБ, R_{min} – участку ВГ.

Тогда в ТСЗ № 1 имеем:

R_{max}=0,0189 МПа, R_{min}=0,008 МПа, $q_{c,max}$=19,7 МПа, $q_{c,min}$=8,3 МПа.

Согласно таблице 3 приложения «И» СП 11-105-97 для глубины h>5 м сопротивлению $q_{c,max}$=19,7 МПа соответствует угол внутреннего трения $ц_{max}$=36,4°, а значению $q_{c,min}$=8,3 МПа – $ц_{min}$=32,2°.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Среднее значение $q_{c,cp}=(q_{c,max}+q_{c,min})/2=(19,7+8,3)/2=14$ МПа соответствует сопротивлению трения скольжения, реализующемуся на участках разгрузки. Соответствующий этому значению $u_{cp}=34,7°$ – угол трения скольжения.

Аналогичная обработка была выполнена и в других точках статического зондирования. В таблице 2 представлены результаты обработки данных по пяти точкам для глубины h>5 м.

Таблица 2

№ ТСЗ	$ц_{max}$, град	Нормативное значение $ц_{max}$, град	$ц_{min}$, град	Нормативное значение $ц_{min}$, град	$ц_{ср}$, град	Нормативное значение $ц_{ср}$, град
1	36,4	36,3	32,2	33,7	34,7	35,1
3	35,7		32,5		34,3	
7	36,3		34,1		35,2	
15	36,4		34,9		35,6	
17	36,5		35		35,6	

Таким образом, для ИГЭ7а имеем нормативное значение $u_{max}=36,3°$ (среднее квадратическое отклонение $y=0,29$, коэффициент вариации $V=0,08$), $u_{min}=33,7°$ ($y=1,18, V=0,04$), $u_{cp}=35,1°$ ($y=0,51, V=0,01$).

Полученная диаграмма подтверждает дискретный механизм погружения зонда. На участках возрастания усилия погружения происходит накопление упругой энергии в системе до некоторого пикового значения F_{max}. Процесс погружения при этом характеризуется ростом нагрузки без существенного перемещения зонда по глубине, но с появлением продольного изгиба стержня зонда. С ростом нагрузки система «зонд-грунт» переходит в состояние предельного равновесия и в определенный момент зонд резко перемещается со скоростью, значительно большей, чем на участке нагружения. При этом на участке разгрузки реализуется сопротивление скольжения.

Экспериментальные исследования образцов песчаного грунта в сдвиговом приборе [2, 7] при автоколебаниях позволили получить такие прочностные параметры грунта, как сопротивление скольжению, сопротивление страгиванию, угол трения скольжения, угол зацепления, связность частиц грунта. Эти характеристики позволяют выполнить обоснованную оценку и выбор критериев разрушения и определения параметров прочности при статических и динамических нагрузках.

При проведении статического зондирования грунта распространено использование систем регистрации с демпфирующими устройствами, например, систем с выходом на самописец. При использовании же механических систем регистрации показания снимаются с интервалом до 0,5-1 м по глубине. Все это снижает трудоемкость обработки результатов, но искажает реальную картину процесса взаимодействия зонда с грунтом. Таким образом, для фиксации автоколебаний системы «зонд-грунт» при проведении статического зондирования необходимо применение систем непрерывной регистрации, позволяющих отслеживать параметры дискретного погружения с целью определения статических и динамических характеристик прочности грунта.

Выводы

1. Эффективность применения метода статического зондирования грунтов ограничивается неоднозначностью интерпретации получаемых при зондировании результатов.
2. Анализ существующей литературы показал, что в работах различных авторов имеются сведения, свидетельствующие о фиксации в процессе зондирования неожидаемых резких изменений фиксируемых параметров.
3. Многочисленные экспериментальные данные, как собственные, так и других исследователей, позволяют предположить, что механизм взаимодействия зонда с грунтом имеет дискретный характер, который может быть связан с возбуждением в системе «зонд-грунт» автоколебательного процесса.
4. Накопление упругой энергии в системе «зонд-грунт» происходит, по-видимому, вследствие изгиба стержня зонда, который необходимо рассматривать как задачу возможной потери устойчивости стержня в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба.
5. Наиболее предпочтительными при выполнении зондирования являются системы непрерывной регистрации изучаемых параметров.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6. Фиксация параметров автоколебаний при проведении статического зондирования представляется перспективной с точки зрения определения статических и динамических характеристик прочности грунтовых оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулачкин Б.И. Экспериментально-теоретические исследования и разработка метода зондирования в инженерной геологии // Дисс. доктора г.-м. наук. – М., 1990.
2. Латыпов А.И., Савкин С.М. О прочностных свойствах песчаных грунтов при автоколебательном разрушении // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 55-57.
3. Санглера Г. Исследование грунтов методом зондирования. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971.
4. Драновский А.Н. О механизме дискретного деформирования грунтов // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 34-37.
5. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. – М.: Изд-во АСВ, 1999.
6. Прыгунов М.А. Устойчивость буроинъекционных свай // Дисс. канд. техн. наук. – Казань, 2004.
7. Савкин С.М., Латыпов А.И. Определение статических и кинетических характеристик сопротивления грунтов разрушению // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та украпнська науково-технічна конференція – Механіка грунтів та фундаментобудування, Вып. 53. кн. 1. – Кипв: НДІБК, 2000. – С. 215-220.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.131.522:691.4
И.Т. Мирсаяпов – доктор технических наук, профессор
И.В. Королева – аспирант, старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряженного состояния при длительном действии статической нагрузки. Выявлены характер и механизм разрушения опытных образцов грунтов, закономерности изменения плотности грунта в характерных зонах опытных образцов. Получены данные о развитии линейных и объемных деформаций глинистых грунтов в условиях девиаторного нагружения при увеличении времени действия статического нагружения.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: длительная прочность, глинистый грунт, трехосное сжатие.

I.T. Mirsayapov – doctor of technical sciences, professor
I.V. Koroleva – post-graduate student, senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering

PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF CLAY SOIL IN THE CONDITIONS OF A SPATIAL TENSION

ABSTRACT

Results of experimental researches of physicomechanical properties of clayey soil in the conditions of a spatial tension are resulted at long action of static loading. The character and mechanism of experimented models destruction, and regularities of soil density variation in basis zones are revealed. The data on development of linear and volumetric deformations in conditions increasing tension is obtained for long-time stress.
KEYWORDS: strong, clay soil, triaxial compression.

Для качественного и количественного прогнозирования поведения грунтовых массивов оснований глубоких фундаментов, прежде всего, необходимо правильно определить прочностные и деформативные параметры грунтов основания, учитывающие их исходное напряженно-деформированное состояние, изменение реологических свойств и напряженно-деформированного состояния во время длительной эксплуатации здания.

В основании глубоких фундаментов формирование напряженно-деформированного состояния существенно отличается от характера формирования напряженно-деформированного состояния в основании фундаментов мелкого и среднего заложения [1, 4]. В процессе нагружения глубоких фундаментов выпирания грунта из-под подошвы не происходит и области предельного напряженного состояния локализуются внутри грунтового массива в нижней части боковых поверхностей фундамента (рис. 1). Следовательно, нагружение фундамента глубокого заложения сопровождается перемещением грунта вниз и в сторону, в основании реализуется сложное напряженное состояние.

Процесс разрушения основания, сложенного глинистыми грунтами, представляет собой систему последовательных нарушений условий предельного равновесия по многочисленным поверхностям разрушения, повторяющим друг друга по форме и размерам с некоторым интервалом по глубине под действием постоянной внешней нагрузки в однородном грунте [1]. В отличие от общепринятых соображений не наблюдается глубокого или общего сдвига по сплошным поверхностям скольжения в направлении от вершины уплотненного ядра в противоположные стороны вверх, а происходит уплотнение грунта по некоторой криволинейной поверхности, что обусловливает осадку фундамента и кинематическую возможность этой схемы. Указанная поверхность представляет собой геометрическое место точек, в каждой из которых выполняется условие предельного равновесия в условиях трехосного сжатия [1].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

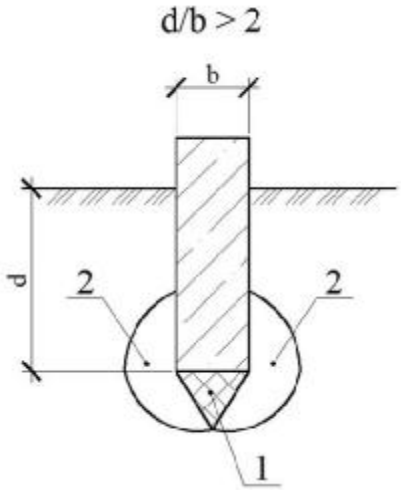


Рис. 1. Формирование областей предельного равновесия в основании глубокого фундамента: 1 – уплотненное ядро; 2 – область предельного равновесия

В связи с вышеизложенным возникает необходимость исследования изменения механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряженного состояния с учетом длительности действия нагрузки.

Авторами проведены экспериментальные исследования деформирования глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при девиаторном нагружении $y_1 > y_2 = y_3$ [2, 3].

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта нарушенной структуры [3].

После изготовления образца методом режущих колец была определена плотность грунта. На приборе одноплоскостного среза были определены прочностные характеристики образца грунта: удельное сцепление грунта **c** = 67,467 кПа, угол внутреннего трения j = 20,6^0. Отклонения по плотности и влажности в пределах высоты образца составили от заданных величин менее 1 %, что позволило считать образец однородным.

В процессе экспериментальных исследований установлены особенности деформирования и разрушения образца при длительном нагружении (рис. 3…6).

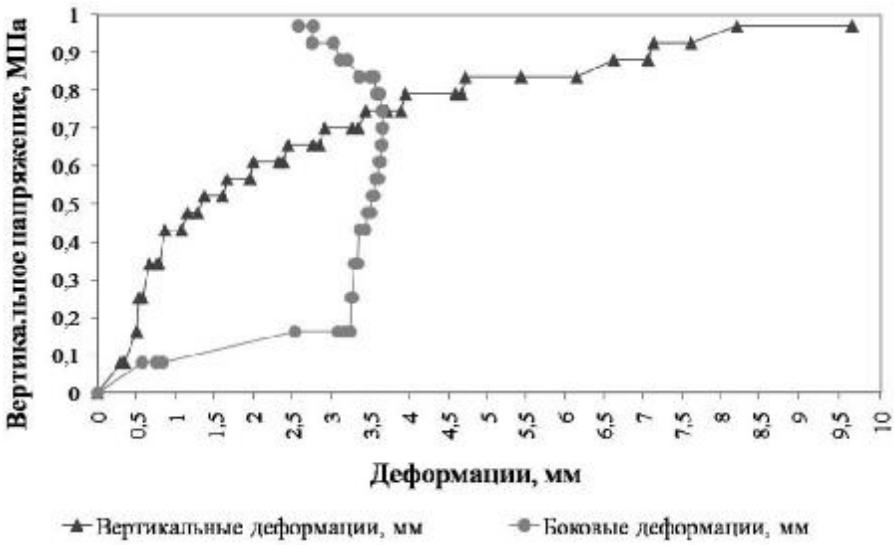


Рис. 2. График зависимости изменения линейных деформаций от роста величины вертикальных напряжений при кратковременных трехосных испытаниях

Из графиков трехосных кратковременных испытаний (рис. 2) видно, что на этапе всестороннего обжатия боковые деформации растут интенсивнее вертикальных, максимальная величина боковых деформаций достигается в момент, когда вертикальные деформации составляют 25-30 % от величины предельных деформаций при разрушении. Скорость роста вертикальных деформаций начинает увеличиваться при $s_1 > 0{,}3 \cdot s_{1разр}$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При действии длительных статических нагрузок деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний (рис. 3). Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие объемных деформаций происходило на первых этапах нагружения.

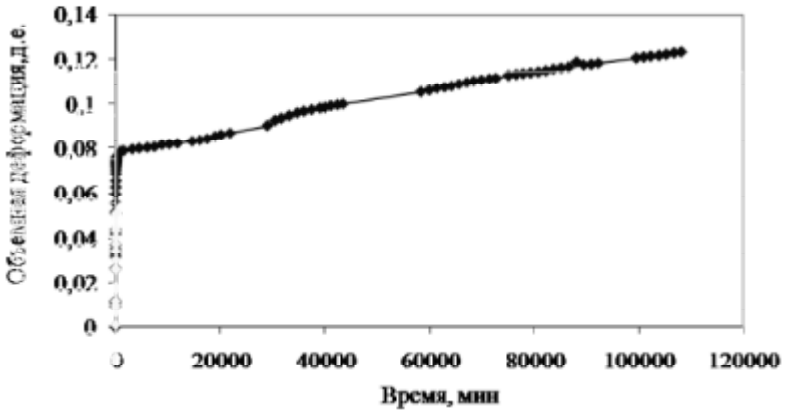


Рис. 3. График зависимости изменения объемных деформаций
во времени при длительных трехосных испытаниях

Характер изменения относительных объемных деформаций представлен на рис. 4. На графике наглядно показано, что после всестороннего обжатия (этап 1) в процессе девиаторного нагружения (этап 2) происходит нарастание объемных упругих и пластических деформаций, а нарастание объемных деформаций ползучести происходит при постоянном значении среднего напряжения в процессе длительного трехосного сжатия (этап 3).

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что при длительных нагружениях, как и при кратковременных испытаниях, разрушение образцов происходит при достижении грунтом предельных значений деформаций.

На рис. 4, 5 и 6 приведены зависимости между средними напряжениями и относительными объемными деформациями, между интенсивностью касательных напряжений и интенсивностью деформаций сдвига (диаграмма деформирования образца) и паспорт ползучести грунта. Совместный анализ приведенных графиков показывает, что при увеличении напряжений и времени действия нагрузки происходит развитие деформаций изменения объема и деформации изменения формы (положительная дилатансия) при уплотнении грунта в пределах испытанного объема.

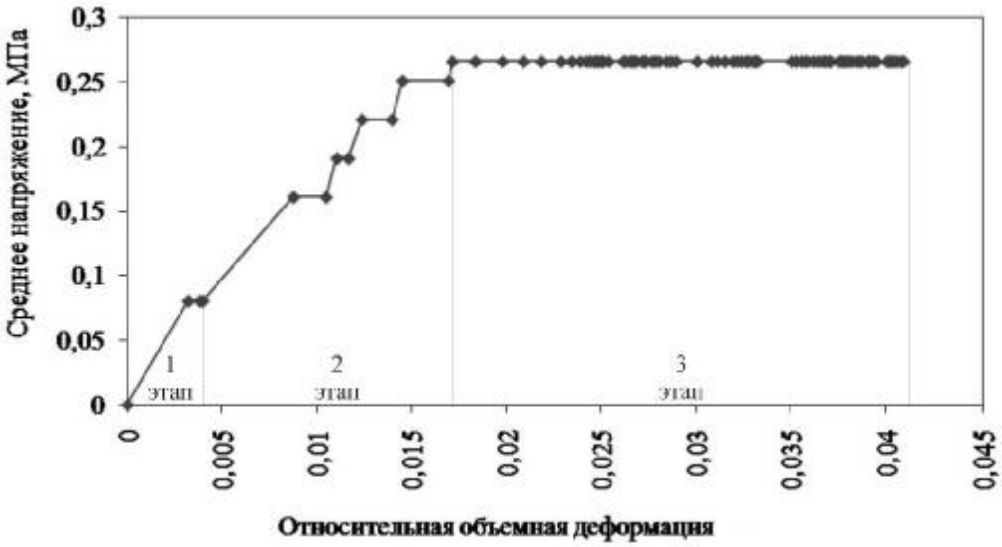


Рис. 4. График зависимости изменения относительных объемных деформаций
от роста величины средних напряжений при длительных трехосных испытаниях

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

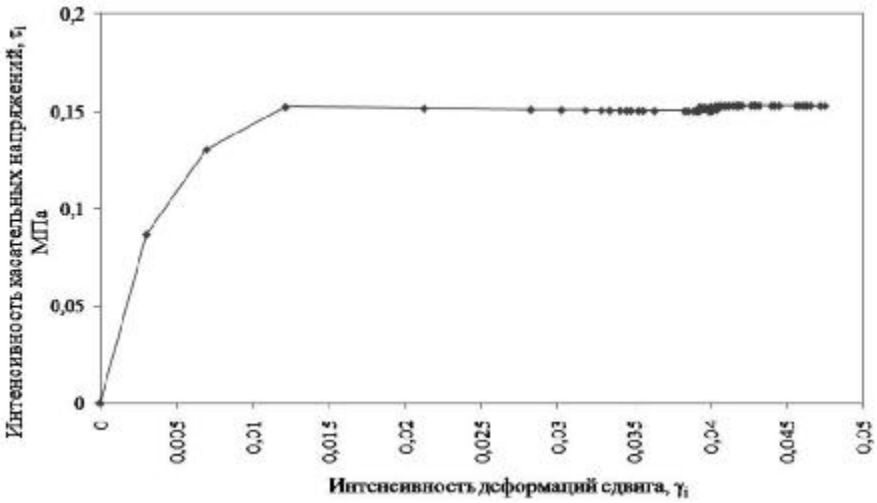


Рис. 5. Диаграмма деформирования образца грунта при длительных трехосных испытаниях

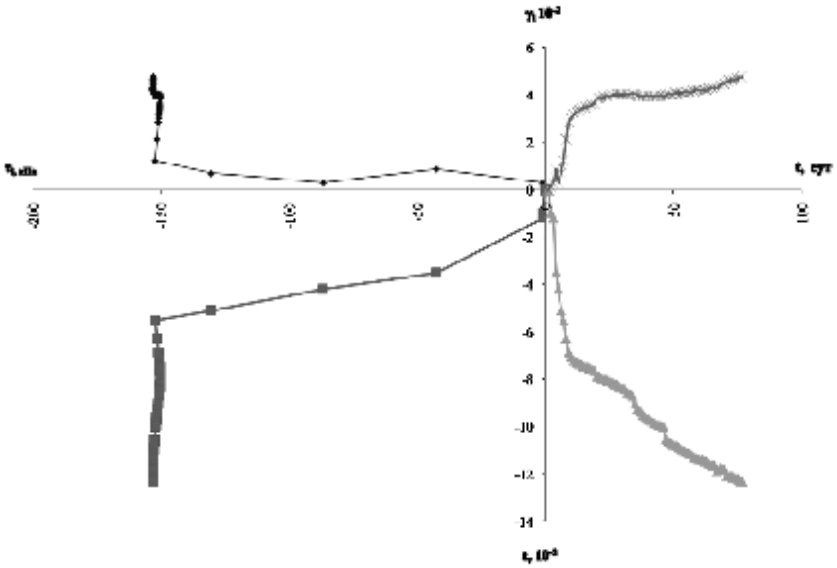


Рис. 6. Паспорт ползучести глинистого грунта при длительных трехосных испытаниях

В процессе испытаний получена характерная картина разрушения опытных образцов в условиях истинного трехосного сжатия [4].

В образце грунта были отмечены зоны различной плотности (рис. 7), отличающиеся от первоначальной величины до 15 %, причем в средней части образца при кратковременных испытаниях наблюдалось разрыхление грунта и снижение плотности до 3 %. Данные по изменению плотности в характерных зонах образца при истинном трехосном сжатии представлены в виде диаграммы (рис. 8). При проведении длительных испытаний было установлено уменьшение влажности до 3,5 %.

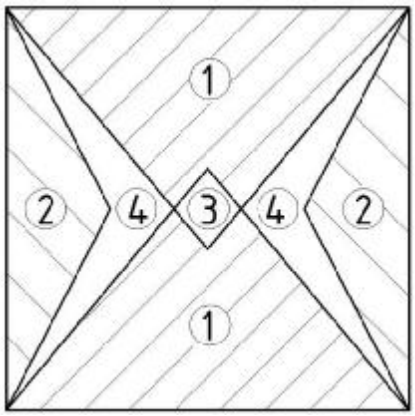


Рис. 7. Схема расположения локальных зон различной плотности в образце при трехосных испытаниях:
1 – вертикальные уплотненные пирамиды;
2 – уплотненные пирамиды у боковых граней;
3 и 4 – разуплотненные зоны

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

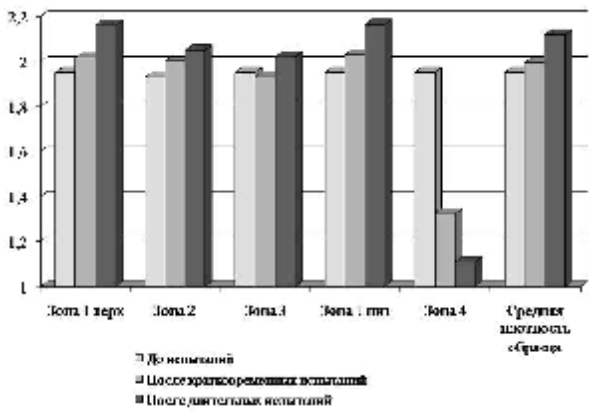


Рис. 8. Диаграмма изменения плотности в характерных зонах образца по результатам серии испытаний в условиях истинного трехосного сжатия

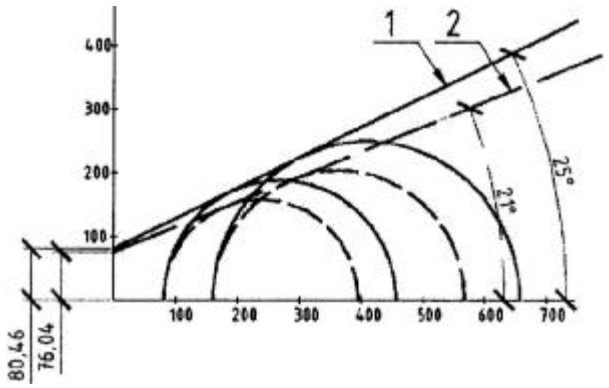


Рис. 9. Круги предельных напряжений, построенные по результатам серии испытаний и огибающие линии:
1 – для кратковременных испытаний;
2 – для длительных испытаний

По результатам серии испытаний построены круги предельных напряжений. Построенные огибающие линии (рис. 9) показывают, что при длительном нагружении происходит снижение угла внутреннего трения φ на 16 %, удельное сцепление грунта *c* уменьшается на 6 %.

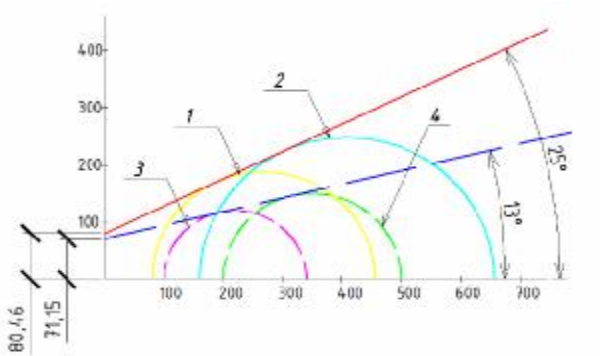


Рис. 10. Круги предельных напряжений, построенные по результатам серии испытаний:
1, 2 – по результатам испытаний на приборе истинного трехосного сжатия;
3, 4 – по результатам на приборе трехосного сжатия стабилометрического типа

Сравнивая значения *ц* и *c*, полученные по результатам испытаний в приборе истинного трехосного сжатия и приборе стабилометрического типа (рис. 10), можно сказать, что в стабилометре угол внутреннего трения грунта получился меньше на 48 %.

Для определения значений угла внутреннего трения *ц* и удельного сцепления *c* в характерных зонах образца были отобраны пробы грунта. Результаты приведены на диаграммах (рис. 11 и 12).

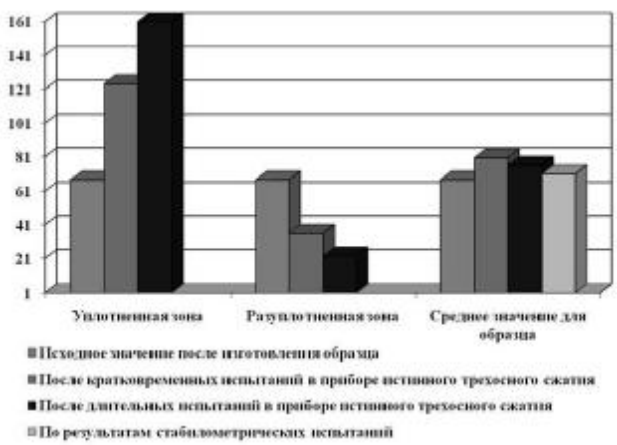


Рис. 11. Изменение удельного сцепления *c* в характерных зонах образца при трехосном сжатии

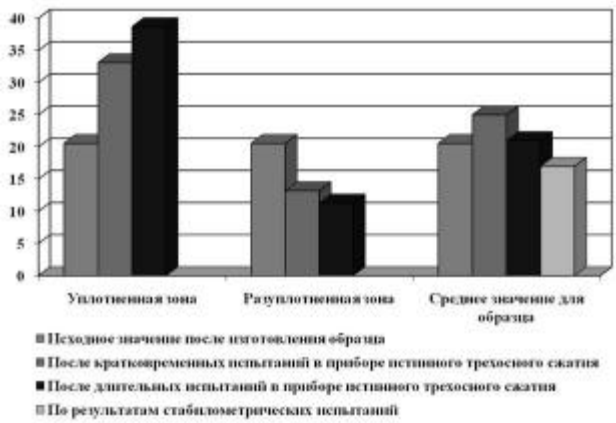


Рис. 12. Изменение угла внутреннего трения *ц* в характерных зонах образца при трехосном сжатии

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Величины φ и *c*, полученные при одноплоскостном срезе грунтов, отобранных из уплотненных зон этих образцов (рис. 11 и 12), значительно отличаются от значений, приведенных на рис. 9 (величина φ уменьшилась до 48 %, а значение *c* увеличилось до 60 %).

Это показывает, что уменьшение механических характеристик грунта при истинном трехосном сжатии в большей степени локализуется в зонах 3 и 4 (рис. 7).

В результате совместного анализа картины разрушения, схемы расположения локальных зон различной плотности (рис. 7), диаграммы деформирования образца (рис. 5) и паспорта ползучести (рис. 6) можно предположить, что при истинном трехосном сжатии образца грунта возникают различные зоны напряженно-деформированного состояния, т.е. при поэтапном увеличении нагрузки образуются уплотненные зоны в виде пирамид: сверху, в нижней части образца и у боковых граней. Верхняя и нижняя пирамиды в ходе дальнейших нагружений объединяются с образованием фигуры из двух усеченных пирамид (рис. 7).

Деформирование образца происходит за счет движения этих пирамид как жестких тел. В уплотненных зонах 1 и 2 (рис. 7) не происходит ухудшения физико-механических характеристик грунтов, а наблюдается их улучшение. Негативные процессы, снижающие физико-механические характеристики грунта, локализуются в зоне между этими «пирамидами» (зона 4 рис. 7). В локальной зоне 4 зафиксировано снижение плотности на 43 %. Исследование напряженно-деформированного состояния грунтов в этой зоне показало, что они подвергаются одновременному отрыву и сдвигу (рис. 13).

Таким образом, отрицательная дилатансия (разрыхление) глинистого грунта при длительном истинном трехосном сжатии локализуется в пределах потенциально возможных площадок предельного равновесия при положительном знаке дилатансии в интегральном объеме.

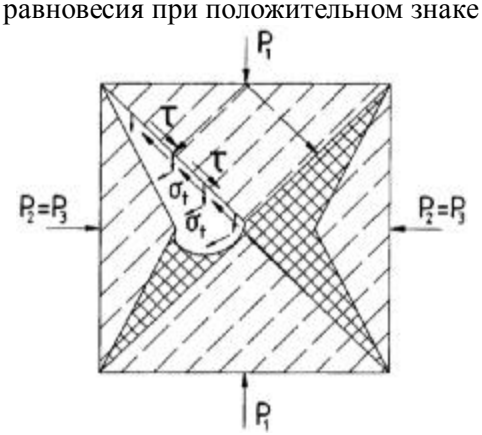


Рис. 13. Схема напряженного состояния локальных зон между уплотненными пирамидами

Заключение

При истинном трехосном сжатии в образце грунта образуются уплотненные пирамиды в виде жестких недеформируемых тел. Изменение объема и деформации формоизменения образца происходят за счет движения этих пирамид при положительной дилатансии (уплотнении) глинистого грунта в интегральном объеме. Отрицательная дилатансия грунта (разрыхление) реализуется в зоне расположения потенциально возможных площадок предельного равновесия, ориентация которых меняется в зависимости от уровня пластических деформаций и длительности нагружения. При проектировании оснований глубоких фундаментов с учетом длительности действия нагрузки необходимо уточнить последовательность механизма достижения предельного состояния и скорректировать расчетные схемы и уравнения состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорян А.А. О безопасности строительства на глинистых грунтах по первому предельному состоянию // Основания, фундаменты, механика грунтов, 2006, № 5. – С. 20-25.
2. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Экспериментальные исследования длительной прочности и деформативности глинистых грунтов при трехосном сжатии // Современные технологии в строительстве. Теория и практика; материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию строительного факультета ПГТУ. – Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2009. – С. 253-259.
3. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 167-172.
4. Тер-Мартиросян З.Г. Механика грунтов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 488 с., ил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 539.415
А.Н. Драновский – кандидат технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
А.И. Латыпов – ассистент
E-mail: airatlat@mail.ru
Казанский государственный университет

К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается проблема интерпретации результатов статического зондирования в тех случаях, когда обнаруживается неоднозначная зависимость между сопротивлением погружению зонда и глубиной зондирования. Предложен подход к объяснению механизма погружения с точки зрения возникновения автоколебательного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статическое зондирование, зонд, грунт, испытание, автоколебания.

A.N. Dranovskiy – candidate of the technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
A.I. Latypov – assistant
Kazan State University

TO INTERPRETATION OF RESULTS OF STATIC SOUNDING OF THE SOIL BASES

ABSTRACT

In work is found out the problem of interpretation of results of static sounding is considered when ambiguous dependence between resistance to immersing of a probe and depth of sounding. The approach to an explanation of the mechanism of immersing is offered from the point of view of occurrence of self-oscillatory process.

KEYWORDS: static sounding, sound, soil, test, self-oscillations.

В настоящее время зондирование является наиболее перспективным методом инженерной геологии, так как позволяет исследовать грунтовый массив на большую глубину в условиях естественного залегания при сравнительно небольших материальных затратах.

Несмотря на очевидную эффективность, отношение к методу зондирования различных специалистов неоднозначное. Это связано в первую очередь с тем, что параметры зондирования достаточно трудно связать аналитически с характеристиками грунтов, например, механическими, полученными в результате штамповых или сдвиговых испытаний. Кроме того, существует достаточно большой разброс значений определяемых характеристик из-за больших погрешностей определения параметров зондирования.

Основными измеряемыми параметрами согласно ГОСТ 19912-2001 являются удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_c; общее сопротивление грунта на боковой поверхности Q_s (для зонда типа I) и удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда f_s (для зонда типа II).

В последнее время количество параметров, регистрируемых в процессе зондирования, возросло. Например, наиболее современные установки статического зондирования позволяют регистрировать, кроме сопротивления грунта конусу зонда q_c и боковой поверхности f_s, также нормальное давление у, объемную влажность грунта щ, поровое давление P, плотность грунта с, температуру грунтов t, электрическое сопротивление R и др.

Регистрация этих параметров позволила значительно увеличить информацию о физико-механических свойствах грунтов.

При зондировании наиболее актуальными являются два вопроса, существенным образом влияющие на величины конечных характеристик.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Во-первых, выбор системы регистрации измеряемых параметров.

Различными экспериментаторами отмечалось, что при зондировании одного и того же грунтового массива разница между получаемыми результатами, в зависимости от применяемой системы регистрации, может быть весьма значительной.

Для получения информации о свойствах изучаемых грунтов при статическом зондировании используют либо механические, либо электронные системы регистрации.

В качестве механических регистрирующих устройств на установках конструкции Фундаментпроект (С-978, СП-36, СП-56), конструкции ПНИИИС и др. используют манометры и динамометры. Более современные конструкции установок статического зондирования (С-832, С-832м, СПК СПКС) снабжены электронными системами регистрации.

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что при механической регистрации в процессе погружения зонда стрелка индикатора, например динамометра, имеет достаточно широкий диапазон колебаний. Тоже относится и к манометрам. Это затрудняет фиксацию показаний, поэтому ряд установок стал снабжаться различными демпфирующими устройствами, резко снижающими колебания стрелок. Однако это привело к тому, что регистрирующие системы стали значительно запаздывать за изменениями изучаемых параметров.

Что касается электронных систем регистрации, то они имеют заданную постоянную времени переходного процесса, что позволяет получать относительно гладкие кривые графиков зондирования.

Б.И. Кулачкиным в работе [1] был поставлен интереснейший эксперимент зондирования одной и той же площадки г. Днепропетровска тремя различными способами регистрации.

На рис. 1 изображены диаграммы, полученные электронной системой регистрации с выходом на осциллограф Н-115 (сплошная тонкая ломаная линия); электронной системой регистрации с выходом на самописец Н-390 (пунктирная линия) и механической системой регистрации с выходом на динамометр (сплошная толстая ломаная линия).

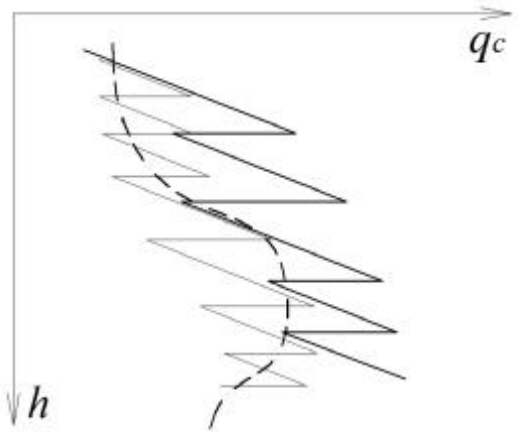


Рис. 1. Диаграммы сопротивления конусу зонда q_c при различных системах регистрации

Как видно, значения всех трех видов регистрации параметра q_c отличаются друг от друга.

Наиболее объективными являются электронная система регистрации с выходом на осциллограф и механическая система с выходом на динамометр.

Из приведенного рисунка видно, что перемещения зонда происходят дискретно, т.е. имеют место скачки регистрируемого сопротивления погружению. Причем характер диаграммы полностью аналогичен диаграмме автоколебательного разрушения грунта в запредельной стадии деформирования, полученной нами при лабораторных испытаниях песчаных образцов в сдвиговом приборе [2].

Электронная система регистрации с выходом на самописец имеет некоторое запаздывание в записи процесса, что выражается в сглаживании ломаной линии. Диаграмма в этом случае находится в полосе, окаймляющей первую диаграмму зондирования.

Б.И. Кулачкин так объясняет полученный результат: «Зонд в процессе перемещения вначале нагружает грунт, вовлекая при этом в работу определенный объем грунта, растет нагрузка, в определенный момент времени наступает предельное равновесие, происходит разрушение в объеме вовлекаемого в работу грунта, зонд перемещается (проваливается) в пределах разрушенного объема, уменьшается нагрузка. Пройдя зону предельного равновесия, зонд вновь вовлекает в работу новый объем грунта и снова происходит увеличение нагрузки, которая, возрастая, достигает предельного равновесия и т.д.

Таким образом, при наступлении предельного равновесия, грунт начинает разрушаться, причем скорость его разрушения выше скорости перемещения зонда, о чем свидетельствует пилообразная диаграмма нагрузки, причем участки снижения нагрузки скорее характеризуют систему погружения. Поэтому перемещение зонда происходит дискретно, т.е. на участке возрастания нагрузки скорость

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

практически постоянная, поскольку задавливающие устройства имеют, как правило, запас по мощности, а на ветви разгрузки происходит резкое уменьшение нагрузки и зонд как бы проваливается, причем скорость этого перемещения будет зависеть от технических характеристик системы погружения».

Автор отмечает, что все вышесказанное относится также и к регистрации второго параметра зондирования – трения грунта по боковой поверхности зонда.

Вторым, не менее важным, является вопрос интерпретации получаемых результатов трения грунта по лобовой и особенно боковой поверхностям зонда.

В зависимости от конструкции зонды могут быть двух типов: I – с наконечником из конуса и кожуха, и II – с наконечником из конуса и муфты трения.

Зонды I типа позволяют определять лобовое сопротивление грунта и суммарную величину сопротивления трения по боковой поверхности. При этом весьма неоднозначным является вопрос определения величины бокового трения. Г. Санглера [3] отмечает наблюдаемое падение величины бокового трения с глубиной зондирования. По его мнению, это свидетельствует о том, что увеличение бокового трения при проходке пластов может быть меньше, чем уменьшение величины локализованного трения в покровных пластах грунта. Поскольку величина падения трения в верхних пластах неизвестна, то и величина трения во вновь проходимых пластах также остается неизвестной. Поэтому невозможно получить точное представление о роли отдельных проходимых пластов грунта на основании измерения величины бокового трения.

В сравнительно однородных грунтах снижение сопротивления верхних слоев при зондировании обнаружить трудно, так как это снижение перекрывается обычно увеличением общего сопротивления за счет увеличения глубины погружения зонда. Однако при напластовании грунтов различной прочности иногда снижение сопротивления верхних слоев оказывается настолько значительным, что уже не компенсируется вовлечением в работу новых слоев грунта.

Таким образом, измерение трения грунта по боковой поверхности зонда I типа не может быть использовано для определения прочностных характеристик грунтов, так как не дает конкретных численных значений сопротивляемости отдельных слоев.

Этого недостатка лишены зонды типа II с муфтой трения, позволяющей определять удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности.

Тем не менее, применение зонда II типа не всегда дает удовлетворяющие исследователей результаты.

Как уже отмечалось выше, несмотря на ряд очевидных достоинств, метод зондирования в настоящий момент рассматривают в основном как способ уточнения данных бурения и для расчета несущей способности свайных фундаментов, которая определяется как сумма лобового сопротивления и бокового трения.

Для определения физико-механических свойств грунтов используют различные корреляционные зависимости между параметрами зондирования и искомыми характеристиками. Так, существуют методики по определению по значениям q_c плотности, модуля деформации, консистенции глинистых грунтов, угла внутреннего трения ц, сцепления и др.

Ограниченность использования метода статического зондирования для определения физико-механических характеристик грунтов вызвана, прежде всего, отсутствием серьезных и полноценных исследований процесса перемещения зонда в грунте, взаимосвязи зондирования с другими методами испытаний грунтов, а также наличием больших погрешностей при определении параметров зондирования из-за их существенного разброса.

Результаты статического зондирования грунтовых оснований приводятся, как правило, в виде диаграмм зависимостей q_c и f_s от глубины погружения h. При этом получаемые диаграммы имеют вид ломаных линий зачастую с довольно резкими скачками фиксируемых параметров.

Подобная неравномерность связывается большинством исследователей с неоднородностью грунтового основания. Вместе с тем результаты бурения не выявляют обычно подобного чередования прослоев грунта с различными прочностными свойствами.

В качестве примера можно привести исследования, выполненные при статическом зондировании площадки строительства Дворца водных видов спорта в Ново-Савиновском районе г. Казани установкой УЗК-15 (зонд II типа). Зондирование было выполнено в 10 точках.

На рис. 2 представлена диаграмма зондирования в точке статического зондирования №1. Инженерно-геологический разрез площадки приведен в таблице 1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

№ ИГЭ	Характеристика ИГЭ	Мощность, м
НС	Насыпь супесчано-глинистая, с включением строительного мусора	1,5
3в	Суглинок мягкопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	2,8
3б	Суглинок тугопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	1,6
7а	Песок средней крупности водонасыщенный желтовато-коричневый, средней плотности	5,6

В интервале глубины 5,9-11,5м залегает слой песчаного грунта ИГЭ7а со следующими характеристиками: природная влажность 0,18-0,25, плотность с=1,99-2,10 г/см^3, коэффициент пористости е=0,50-0,67, угол внутреннего трения ц=31-36°, модуль деформации Е=28-45 МПа.

По данным инженерно-геологического отчета ОАО «КазТИСИз», в ИГЭ7а не выявлено наличия существенных прослоев и неоднородных включений. Однако как видно из приведенной диаграммы, скачки q_c внутри одного слоя достигают 7-10 МПа, f_s – 80-120 кПа.

При интерпретации данных зондирования в этом случае приходится сталкиваться с определенными трудностями, связанными с определением расчетных значений прочностных характеристик.

Г. Санглера [3] указывает, что когда в обследуемой толще встречается гравий или отдельные камни, или когда толща грунта представляет свиту из прослоек неоднородных грунтов, кривые на графике носят пилообразный характер, что отражает значительные колебания в величине сопротивления грунта по глубине толщи. В этом случае предлагается проводить кривую по нижним точкам, по минимальным полученным значениям сопротивления грунтов.

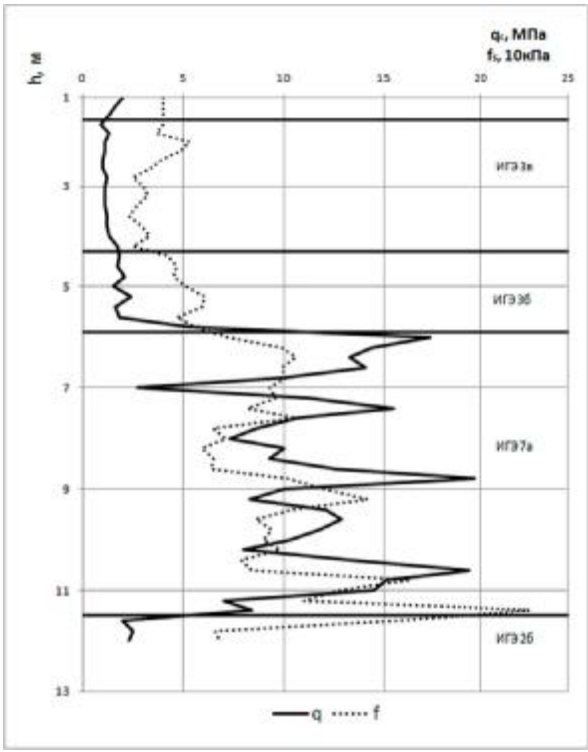


Рис. 2. График статического зондирования в ТСЗ № 1 объекта: Дворец водных видов спорта, г. Казань (— q_c, --- f_s)

Однако, это может привести к значительному занижению определяемых характеристик. Так, подобная обработка данных в вышеприведенном примере приведет к занижению q_c в 2-3 раза, f_s – в 1,5-2 раза по сравнению с пиковыми значениями.

Согласно СП 50-102-2003 при определении несущей способности свай по результатам статического зондирования значение q_c принимается осредненным в пределах одного диаметра выше и четырех диаметров ниже отметки острия сваи, а f_s – средним на боковой поверхности зонда.

Подобный подход не учитывает кинетику процесса перемещения зонда в грунте и поэтому определяемые значения характеристик не имеют физического смысла.

Представляется, что подобные скачки могут быть связаны с появлением автоколебаний системы «зонд-грунт».

В работе [4] показано, что критерий возбуждения автоколебаний определяется соотношением жесткости упругой части системы и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления деформированию грунтового массива.

Жесткость системы определяется в основном жесткостью стержня зонда как функции от его длины (глубины погружения)

$$K = \frac{AE}{l_{ff}} = \frac{\Delta N}{\Delta l}, \qquad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где *Дl* – упругое приращение свободной эффективной длины, соответствующее приращению усилия погружению *ДN*; *A* – площадь сечения стержня; *E* – модуль упругости; l_{ff} – свободная эффективная длина стержня.

Как видно, с увеличением длины зонда его жесткость пропорционально уменьшается. Многочисленные наблюдения при проведении полевых работ свидетельствуют о том, что наблюдаются случаи изгиба стержня зонда при погружении, особенно при прохождении песчаных грунтов. Это связано, прежде всего, с малым по сравнению с длиной диаметром стержня зонда и, как следствие, его высокой гибкостью. По мере роста вдавливающей нагрузки величина изгиба увеличивается, а в системе происходит накопление упругой энергии до некоторого критического значения, после чего зонд с высокой скоростью разгружается, возвращая первоначальную форму равновесия, т.е. происходит переход стержня зонда из неустойчивого состояния в устойчивое. Таким образом, изгиб стержня зонда может служить причиной дискретного характера погружения.

Для проверки данного утверждения в рассматриваемых инженерно-геологических условиях была решена задача по определению величины прогиба стержня зонда.

Решение для стержня жесткостью *K*, работающего в упругом полупространстве с коэффициентом отпора грунта *к(x)* и трением по боковой поверхности *Q(x)*, получено В.М. Улицким и К.Г. Шашкиным [5].

Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня в этом случае будет иметь вид:

$$EIw'^{v}+\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w''-Q(x)w'+k(x)w=$$

$$=-\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w_0''+Q(x)w_0', \qquad (2)$$

где *E* – модуль упругости материала стержня, *I* – момент инерции сечения, *F* – величина действующего усилия, *Q(x)* – сопротивление по боковой поверхности стержня, *к(x)* – коэффициент отпора грунта, принимаемый согласно таблице Д1 Приложения Д СП 50-102-2003, *w* – определяемый прогиб, w_0 – начальное искривление оси стержня.

Решение данного уравнения было запрограммировано М.А. Прыгуновым для различных исходных данных с помощью метода конечных разностей [6].

На рис. 3 приведена полученная с помощью данного алгоритма зависимость прогиба стержня зонда от глубины.

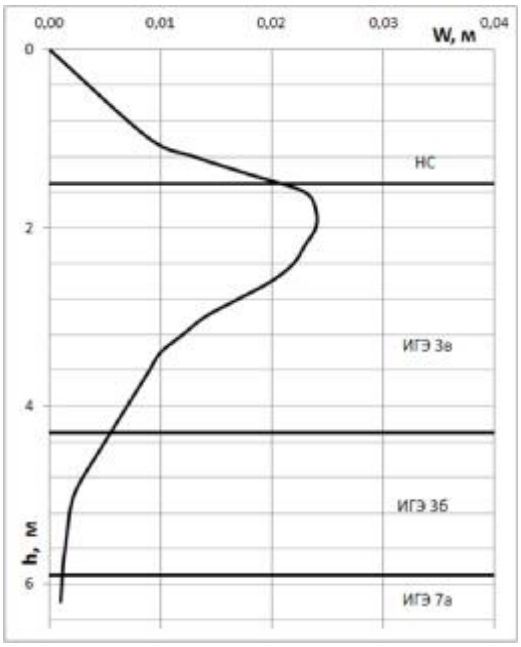


Рис. 3. Зависимость прогиба стержня зонда от глубины

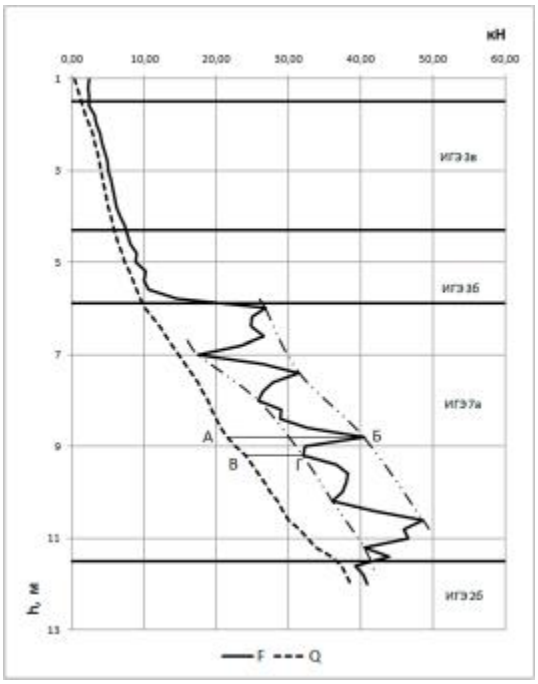


Рис. 4. Диаграмма полного сопротивления погружению зонда (*F*) и сопротивления по боковой поверхности (*Q*) в ТСЗ № 1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В качестве расчетной была принята длина l=5,9 м, соответствующая входу конуса зонда в слой ИГЭ7а. Полное сопротивление погружению в этой точке резко увеличивается до значения F=20 кН (см. рис. 4).

E=215 ГПа (сталь 38ХГС),

$I = \frac{\pi}{64}(d_н^4 - d_{вн}^4) = \frac{\pi}{64}(0{,}036^4 - 0{,}018^4) = 0{,}77 \cdot 10^{-7} м^4$ – момент инерции трубчатого сечения стержня зонда с наружным диаметром $d_н$=36 мм, внутренним $d_{вн}$=18 мм.

Видно, что при прохождении зондом слоя ИГЭ7а в более слабых слоях НС, ИГЭ3в, ИГЭ3б возможно появление продольного изгиба стержня и, как следствие, возникновение автоколебаний системы «зонд-грунт».

Необходимо отметить, что при решении данной задачи одновременно проверялось условие возможной потери устойчивости стержня в грунте, за факт которой принималось превышение сопротивления погружению над значением критической силы

$$P_{cr} = mn2\sqrt{k(x)d_н EI} < F, \quad (3)$$

где m – поправочный коэффициент, учитывающий длину зонда и жесткую заделку верха стержня зонда; n – коэффициент, учитывающий трение по боковой поверхности зонда [6].

$$P_{cr} = 1{,}62 \cdot 1{,}028 \cdot 2\sqrt{2968 \cdot 0.036 \cdot 16{,}555} = 132{,}1 кН > F = 20 кН.$$

Значение критической силы превышает сопротивление погружению в несколько раз, что связано прежде всего с высоким значением коэффициента отпора грунта $k(x)$=2968 кН/м^4.

В данном случае вопрос принятия значения коэффициента отпора является весьма неоднозначным. Дело в том, что процесс погружения зонда и изгиба его стержня является циклическим. Сначала на стержень передается некоторое усилие, которое одновременно с погружением вызывает его изгиб, ограниченный отпором окружающего его грунта. Через некоторый интервал нагрузка снимается для наращивания штанг, что вызывает возвращение стержня в первоначальное прямолинейное состояние. При этом вокруг стержня в грунте образуется полость, и при повторном нагружении изгиб будет происходить на начальной стадии в воздушной среде. С увеличением количества циклов величина полости увеличивается. Очевидно, что значение коэффициента отпора грунта будет зависеть от величины этой полости. Поэтому задачу необходимо рассматривать и решать как задачу возникновения продольного изгиба стержня и возможной потери устойчивости в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба. Исследования в данном направлении продолжаются и в рамках данной статьи не приводятся.

Вывод о дискретности процесса погружения подтверждает приведенная на рис. 4 диаграмма полного сопротивления погружению зонда $F=R+Q$ в рассматриваемой точке статического зондирования ТСЗ № 1.

Как видно, до глубины 5,9 м процесс погружения происходит достаточно равномерно, без существенных колебаний значения сопротивления. Затем, при входе зонда в слой ИГЭ7а, наблюдаются значительные колебания определяемых параметров.

Пунктирной линией показано полное сопротивление по боковой поверхности.

$$Q = u\sum f_{si}h_i, \quad (4)$$

где u – периметр зонда, f_{si} – сопротивление по муфте трения, h_i – мощность i-го слоя грунта.

На полученной диаграмме можно выделить пиковые (точка Б) и минимальные (точка Г) значения сопротивления погружению зонда. Штрихпунктирной линией показаны огибающие максимумов и минимумов.

Таким образом, на глубине h=8,8 м в точке Б реализуется максимальное сопротивление конусу $q_{c,max}= R_{max}/A$, а в точке Г – минимальное $q_{c,min}= R_{min}/A$.

Графически сопротивление под конусом зонда $R=Aq_c$ может быть определено как разница между полным сопротивлением F и общим сопротивлением по боковой поверхности $R=F-Q$, т.е значение R_{max} соответствует участку АБ, R_{min} – участку ВГ.

Тогда в ТСЗ № 1 имеем:

R_{max}=0,0189 МПа, R_{min}=0,008 МПа, $q_{c,max}$=19,7 МПа, $q_{c,min}$=8,3 МПа.

Согласно таблице 3 приложения «И» СП 11-105-97 для глубины h>5 м сопротивлению $q_{c,max}$=19,7 МПа соответствует угол внутреннего трения $ц_{max}$=36,4°, а значению $q_{c,min}$=8,3 МПа – $ц_{min}$=32,2°.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Среднее значение $q_{c,cp}=(q_{c,max}+q_{c,min})/2=(19,7+8,3)/2=14$ МПа соответствует сопротивлению трения скольжения, реализующемуся на участках разгрузки. Соответствующий этому значению $u_{cp}=34,7°$ – угол трения скольжения.

Аналогичная обработка была выполнена и в других точках статического зондирования. В таблице 2 представлены результаты обработки данных по пяти точкам для глубины h>5 м.

Таблица 2

№ ТСЗ	$ц_{max}$, град	Нормативное значение $ц_{max}$, град	$ц_{min}$, град	Нормативное значение $ц_{min}$, град	$ц_{ср}$, град	Нормативное значение $ц_{ср}$, град
1	36,4	36,3	32,2	33,7	34,7	35,1
3	35,7		32,5		34,3	
7	36,3		34,1		35,2	
15	36,4		34,9		35,6	
17	36,5		35		35,6	

Таким образом, для ИГЭ7а имеем нормативное значение $u_{max}=36,3°$ (среднее квадратическое отклонение $y=0,29$, коэффициент вариации $V=0,08$), $u_{min}=33,7°$ ($y=1,18, V=0,04$), $u_{cp}=35,1°$ ($y=0,51, V=0,01$).

Полученная диаграмма подтверждает дискретный механизм погружения зонда. На участках возрастания усилия погружения происходит накопление упругой энергии в системе до некоторого пикового значения F_{max}. Процесс погружения при этом характеризуется ростом нагрузки без существенного перемещения зонда по глубине, но с появлением продольного изгиба стержня зонда. С ростом нагрузки система «зонд-грунт» переходит в состояние предельного равновесия и в определенный момент зонд резко перемещается со скоростью, значительно большей, чем на участке нагружения. При этом на участке разгрузки реализуется сопротивление скольжения.

Экспериментальные исследования образцов песчаного грунта в сдвиговом приборе [2, 7] при автоколебаниях позволили получить такие прочностные параметры грунта, как сопротивление скольжению, сопротивление страгиванию, угол трения скольжения, угол зацепления, связность частиц грунта. Эти характеристики позволяют выполнить обоснованную оценку и выбор критериев разрушения и определения параметров прочности при статических и динамических нагрузках.

При проведении статического зондирования грунта распространено использование систем регистрации с демпфирующими устройствами, например, систем с выходом на самописец. При использовании же механических систем регистрации показания снимаются с интервалом до 0,5-1 м по глубине. Все это снижает трудоемкость обработки результатов, но искажает реальную картину процесса взаимодействия зонда с грунтом. Таким образом, для фиксации автоколебаний системы «зонд-грунт» при проведении статического зондирования необходимо применение систем непрерывной регистрации, позволяющих отслеживать параметры дискретного погружения с целью определения статических и динамических характеристик прочности грунта.

Выводы

1. Эффективность применения метода статического зондирования грунтов ограничивается неоднозначностью интерпретации получаемых при зондировании результатов.
2. Анализ существующей литературы показал, что в работах различных авторов имеются сведения, свидетельствующие о фиксации в процессе зондирования неожидаемых резких изменений фиксируемых параметров.
3. Многочисленные экспериментальные данные, как собственные, так и других исследователей, позволяют предположить, что механизм взаимодействия зонда с грунтом имеет дискретный характер, который может быть связан с возбуждением в системе «зонд-грунт» автоколебательного процесса.
4. Накопление упругой энергии в системе «зонд-грунт» происходит, по-видимому, вследствие изгиба стержня зонда, который необходимо рассматривать как задачу возможной потери устойчивости стержня в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба.
5. Наиболее предпочтительными при выполнении зондирования являются системы непрерывной регистрации изучаемых параметров.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6. Фиксация параметров автоколебаний при проведении статического зондирования представляется перспективной с точки зрения определения статических и динамических характеристик прочности грунтовых оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулачкин Б.И. Экспериментально-теоретические исследования и разработка метода зондирования в инженерной геологии // Дисс. доктора г.-м. наук. – М., 1990.
2. Латыпов А.И., Савкин С.М. О прочностных свойствах песчаных грунтов при автоколебательном разрушении // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 55-57.
3. Санглера Г. Исследование грунтов методом зондирования. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971.
4. Драновский А.Н. О механизме дискретного деформирования грунтов // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 34-37.
5. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. – М.: Изд-во АСВ, 1999.
6. Прыгунов М.А. Устойчивость буроинъекционных свай // Дисс. канд. техн. наук. – Казань, 2004.
7. Савкин С.М., Латыпов А.И. Определение статических и кинетических характеристик сопротивления грунтов разрушению // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та украпнська науково-технічна конференція – Механіка грунтів та фундаментобудування, Вып. 53. кн. 1. – Кипв: НДІБК, 2000. – С. 215-220.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 532.5:621.694
С.Ю. Антонов – старший преподаватель
Казанский государственный энергетический университет
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПРУЖИННО-ВИТЫХ КАНАЛАХ

АННОТАЦИЯ

В работе получена замкнутая система дифференциальных уравнений, описывающая поле мгновенных локальных скоростей, давлений и температур вязкой ньютоновской жидкости, движущейся в эллиптическом пружинно-витом канале, при установившемся режиме процесса теплообмена. Специфическая геометрия проточной части канала потребовала введения обобщенной цилиндрической системы координат, параметры a и b которой связаны специальным образом. Полученная система уравнений справедлива для установившегося режима течения жидкости в широком диапазоне критериев Re и Pe.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидродинамика, теплообмен, пружинно-витые каналы.

S.Yu. Antonov – senior lecturer
Kazan State Power University
Y.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

MATHEMATICAL MODEL OF HYDRODYNAMICS AND HEAT EXCHANGE OF FLOW OF A LIQUID THROUGH SPRING-CURLY CHANNELS

ABSTRACT

In work the closed system of the differential equations describing a field of instant local speeds, pressure and temperatures viscous Newtonian of a liquid driven in elliptic spring-curly the channel is received at the established mode of process of heat exchange. The specific geometry of a flowing part of the channel has required introduction of the generalized cylindrical system of coordinates, the parameters a and b with which are connected by a special image. The received system of the equations is fair for the established mode of current of a liquid in a wide range of criteria Re and Pe.

KEYWORDS: hydrodynamics, heat exchange, spring-curly channels.

ВВЕДЕНИЕ

К конструкциям закручивающих устройств современного типа относятся теплообменные элементы в виде эллиптических пружинно-витых каналов [1], обладающих увеличенной площадью поверхности теплообмена, обеспечивающих незатухающую закрутку течения теплоносителя в проточной части канала и турбулизацию потока в пристенной области. В связи с этим исследование тепло- и гидродинамических закономерностей течений в таких теплообменных элементах представляется, на наш взгляд, актуальным и перспективным.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сформулируем основные допущения, принятые нами при построении математической модели гидродинамики и теплообмена движущейся вязкой ньютоновской жидкости в эллиптическом пружинно-витом канале:

1) течение жидкости и процесс теплообмена являются установившимися;

2) перенос теплоты вдоль основного направления течения жидкости за счет собственной теплопроводности мал по сравнению с вынужденным переносом тепла, полученного от внешнего источника;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3) при изучаемых процессах плотность ρ, удельная теплоемкость c_p и теплопроводность k меняются незначительно.

Разрабатываемая модель должна удовлетворять принципу ковариантности и локальности.

Базовыми уравнениями, описывающими процессы гидродинамики и теплообмена, являются уравнения неразрывности, движения сплошной среды и энергии, взятой в форме Фурье-Кирхгофа [2, 3].

Из работы [4] следует, что в рассматриваемый нами пружинно-витой канал можно вписать некоторый эллиптический цилиндр, нормальное сечение которого полностью определяется малой полуосью b и эксцентриситетом ε_1 (рис.).

Рис. Эллиптический цилиндр, вписанный в пружинно-витой канал

В связи с этим для описания гидродинамики и теплообмена течения жидкости в таком канале нами выбрана обобщенная цилиндрическая система координат:

$$x = ar\cos\varphi,\ y = br\sin\varphi,\ z = z, \tag{1}$$

где $r > 0$, $\varphi \in [0,2\pi]$, $z \in R$, $b > 0$, $a = \dfrac{b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}}$, $\varepsilon_1 \in [0,1)$,

Используя известное равенство [5] $G = J^T E J$, где $G = (g_{ij})$, $E = (\delta_{ij})$ – метрические тензоры в системах координат (r,φ,z) и (x,y,z) соответственно, J – матрица Якоби нашего преобразования, получаем, что

$$g_{11} = \frac{b^2}{2(1-\varepsilon_1^2)}\left(2-\varepsilon_1^2+\varepsilon_1^2\cos 2\varphi\right);$$

$$g_{12} = g_{21} = \frac{-\varepsilon_1^2 b^2 r\sin 2\varphi}{2(1-\varepsilon_1^2)};\ g_{13} = g_{31} = 0; \tag{2}$$

$$g_{22} = \frac{b^2 r^2}{2(1-\varepsilon_1^2)}(2-\varepsilon_1^2-\varepsilon_1^2\cos 2\varphi);$$

$$g_{23} = g_{32} = 0;\ g_{33} = 1.$$

Пусть $g = |G|$. Тогда, вычисляя определитель матрицы G, получаем, что

$$\sqrt{g} = \frac{b^2 r}{1-\varepsilon_1^2}. \tag{3}$$

Далее находим обратную матрицу $G^{-1} = (g^{ij})$ для матрицы G, компоненты которой имеют вид:

$$g^{11} = \frac{2-\varepsilon_1^2-\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2};\ g^{12} = g^{21} = \frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{2b^2 r};$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$g^{13} = g^{23} = g^{31} = g^{32} = 0\,; \tag{4}$$
$$g^{22} = \frac{2-\varepsilon_1^2+\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2r^2}\,;\ g^{33} = 1.$$

Вычисляя символы Кристоффеля Γ^i_{jk} по формуле [5, 6]

$$\Gamma^i_{jk} = \frac{1}{2}g^{im}\left(\frac{\partial g_{km}}{\partial x^j}+\frac{\partial g_{jm}}{\partial x^k}-\frac{\partial g_{jk}}{\partial x^m}\right) \tag{5}$$

получаем, что $\Gamma^1_{22} = -r$; $\Gamma^2_{12} = \Gamma^2_{21} = \frac{1}{r}$; остальные $\Gamma^i_{jk} = 0$.

Используя формулы (4), (5) и определение оператора Лапласа [5,6]:

$$\Delta T = div\ grad\ T = g^{kj}\nabla_k\frac{\partial T}{\partial x^j},$$

где $T(r,\varphi,z)$ – произвольная дважды непрерывно-дифференцируемая в некоторой области $D\subset R^3$ функция, получаем выражения для оператора Лапласа в системе координат (1):

$$\Delta = \frac{2-\varepsilon_1^2}{2b^2}\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\right)+$$
$$+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{2b^2}\left(\frac{2}{r}\frac{\partial^2}{\partial r\partial\varphi}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)+ \tag{6}$$
$$+\frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}-\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\right)+\frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Заметим, что в случае, когда b=1, $\varepsilon_1 = 0$, получаем оператор Лапласа для цилиндрической системы координат [3].

Запишем теперь систему уравнений гидромеханики однородной несжимаемой вязкой ньютоновской жидкости, подчиняющейся закону теплопроводности Фурье, в рассматриваемой системе координат (1).

На основании выражения (3), определения дивергенции векторного поля $div\ v = \nabla_k v^k$ и формулы $div\ v = \frac{\partial v^i}{\partial x^i}+v^m\frac{\partial}{\partial x^m}(\ln\sqrt{g})$ [5,6] получим уравнение неразрывности в системе координат (1):

$$div\ v = \frac{\partial v^1}{\partial r}+\frac{\partial v^2}{\partial\varphi}+\frac{\partial v^3}{\partial z}+\frac{v^1}{r} = 0, \tag{7}$$

где $v = (v^1, v^2, v^3)^T$ – гладкое в некоторой области $D\subset R^3$ векторное поле скоростей.

Для нахождения компонент тензора скоростей деформаций вычислим производные от $div\ v$ (7) по координатам r,φ,z:

$$\frac{\partial}{\partial r}(div\ v) = \frac{\partial^2 v^1}{\partial r^2}+\frac{\partial^2 v^2}{\partial r\partial\varphi}+\frac{\partial^2 v^3}{\partial r\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial v^1}{\partial r}-\frac{v^1}{r^2} = 0,$$
$$\frac{\partial}{\partial\varphi}(div\ v) = \frac{\partial^2 v^1}{\partial r\partial\varphi}+\frac{\partial^2 v^2}{\partial\varphi^2}+\frac{\partial^2 v^3}{\partial\varphi\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial v^1}{\partial\varphi} = 0, \tag{8}$$
$$\frac{\partial}{\partial z}(div\ v) = \frac{\partial^2 v^1}{\partial r\partial z}+\frac{\partial^2 v^2}{\partial\varphi\partial z}+\frac{\partial^2 v^3}{\partial z^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial v^1}{\partial z} = 0.$$

Учитывая равенство (8) и определение компонент тензора скоростей деформаций [2] $b^{ij} = \frac{c^{ij}+c^{ji}}{2}$, где $c^{ij} = g^{ik}(\nabla_k v^j)$, будем иметь:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$
\begin{gathered}
b^{11} = \frac{2-\varepsilon_1^2}{2b^2}\frac{\partial v^1}{\partial r} - \frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2}\frac{\partial v^1}{\partial r} + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{2b^2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v^1}{\partial \varphi} - v^2\right); \\
b^{12} = b^{21} = \frac{2-\varepsilon_1^2}{4b^2}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^1}{\partial \varphi} + \frac{\partial v^2}{\partial r}\right) + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{4b^2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v^1}{\partial r} + \frac{v^1}{r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v^2}{\partial \varphi}\right) + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{4b^2}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^1}{\partial \varphi} - \frac{\partial v^2}{\partial r} - \frac{2v^2}{r}\right); \\
b^{13} = b^{31} = \frac{2-\varepsilon_1^2}{4b^2}\frac{\partial v^3}{\partial r} - \frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{4b^2}\frac{\partial v^3}{\partial r} + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{4b^2 r}\frac{\partial v^3}{\partial \varphi} + \frac{1}{2}\frac{\partial v^1}{\partial z}; \\
b^{22} = \frac{2-\varepsilon_1^2}{2b^2}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^2}{\partial \varphi} + \frac{v^1}{r^3}\right) + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^2}{\partial \varphi} + \frac{v^1}{r^3}\right) + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{2b^2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial v^2}{\partial r} + \frac{v^2}{r^2}\right); \\
b^{23} = b^{32} = \frac{2-\varepsilon_1^2}{4b^2}\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^3}{\partial \varphi} + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{4b^2 r^2}\frac{\partial v^3}{\partial \varphi} + \\
+\frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{4b^2 r}\frac{\partial v^3}{\partial r} + \frac{1}{2}\frac{\partial v^2}{\partial z}; \\
b^{33} = \frac{\partial v^3}{\partial z}.
\end{gathered}
\tag{9}
$$

Используя выражение (9), определение тензора напряжений $\sigma^{ij} = 2\mu b^{ij} + (-p + \lambda\, div\, v) g^{ij}$, его дивергенции $div\,\sigma = \nabla_k \sigma^{ik}$, получим векторное поле

$$div\,\sigma = (u^1, u^2, u^3)^T,$$

где

$$
\begin{gathered}
u^1 = \mu\Delta v^1 - \frac{\mu(2-\varepsilon_1^2)}{2b^2}\left(\frac{2}{r}\frac{\partial v^2}{\partial \varphi} + \frac{v^1}{r^2}\right) - \\
-\frac{\mu\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{b^2}\frac{\partial v^2}{\partial r} + \frac{\mu\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2 r}\left(\frac{\partial v^1}{\partial r} - 2\frac{\partial v^2}{\partial \varphi} - \frac{v^1}{r}\right) - \\
-\frac{2-\varepsilon_1^2-\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2}\frac{\partial p}{\partial r} - \frac{\varepsilon_1^2\sin 2\varphi}{2b^2 r}\frac{\partial p}{\partial \varphi};
\end{gathered}
$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$u^2 = \mu\Delta v^2 + \frac{\mu(2-\varepsilon_1^2)}{b^2 r}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^1}{\partial\varphi} + \frac{\partial v^2}{\partial r}\right) - \tag{10}$$

$$-\frac{\mu\varepsilon_1^2 \sin 2\varphi}{2b^2 r^2}\left(2\frac{\partial v^3}{\partial z} + \frac{3v^1}{r}\right) + \frac{\mu\varepsilon_1^2 \cos 2\varphi}{b^2 r}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial v^1}{\partial\varphi} - \frac{\partial v^2}{\partial r}\right) -$$

$$-\frac{\varepsilon_1^2 \sin 2\varphi}{2b^2 r}\frac{\partial p}{\partial r} - \frac{2-\varepsilon_1^2+\varepsilon_1^2\cos 2\varphi}{2b^2 r^2}\frac{\partial p}{\partial\varphi};$$

$$u^3 = \mu\Delta v^3 - \frac{\partial p}{\partial z},$$

Учитывая приведенные выше результаты, получим общую математическую модель процессов гидродинамики, конвективного теплообмена и теплопроводности стенки в эллиптическом пружинно-витом канале в обобщенной цилиндрической системе координат с учетом геометрии проточной части канала:

$$\frac{\partial v^1}{\partial r} + \frac{\partial v^2}{\partial\varphi} + \frac{\partial v^3}{\partial z} + \frac{v^1}{r} = 0;$$

$$\frac{\partial v^1}{\partial r}v^1 + \frac{\partial v^1}{\partial\varphi}v^2 - r(v^2)^2 + \frac{\partial v^1}{\partial z}v^3 = F^1 + \frac{u^1}{\rho};$$

$$\frac{\partial v^2}{\partial r}v^1 + 2\frac{v^1 v^2}{r} + \frac{\partial v^2}{\partial\varphi}v^2 + \frac{\partial v^2}{\partial z}v^3 = F^2 + \frac{u^2}{\rho}; \tag{11}$$

$$\frac{\partial v^3}{\partial r}v^1 + \frac{\partial v^3}{\partial\varphi}v^2 + \frac{\partial v^3}{\partial z}v^3 = F^3 + \frac{u^3}{\rho};$$

$$\frac{\partial T}{\partial r}v^1 + \frac{\partial T}{\partial\varphi}v^2 + \frac{\partial T}{\partial z}v^3 = \frac{k}{\rho c_p}\Delta T;$$

$$\Delta T_c = 0,$$

где $v = (v^1, v^2, v^3)^T$, $F = (F^1, F^2, F^3)^T$ – векторные поля скоростей и массовых сил соответственно, $u = (u^1, u^2, u^3)^T$ – дивергенция тензора напряжений, T, T_c – температурные поля жидкости и стенки канала соответственно.

Для отыскания конкретных частных решений системы (11) к ней необходимо добавить краевые условия, что позволит получить замкнутую сопряженную задачу теплообмена в рассматриваемых нами каналах.

Заключение

Предложена замкнутая система дифференциальных уравнений, локально описывающая гидродинамику и теплообмен вязкой ньютоновской жидкости, движущейся в эллиптическом пружинно-витом канале. Наличие параметра ε_1 в системе дает широкие возможности для ее аналитического исследования, что позволяет при подходящем выборе граничных условий провести оптимизацию процесса теплообмена по этому параметру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов С.Ю., Золотоносов А.Я., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Теплообменный элемент: пат. 91419 на пол. мод. Рос. Федерация. № 2009136142; заявл. 29.09.09; опубл. 10.02.10, Бюл. № 4. – 3 с.
2. Назмеев Ю.Г. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 371 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978. – 737 с.
4. Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Математическая модель конфигурации эллиптических пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КазГАСУ, 2009, № 2(12). – С.173-178.
5. Мищенко А.С., Фоменко А.Т. Курс дифференциальной геометрии и топологии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 439 с.
6. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1968. – 664 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 624.131.522:691.4
И.Т. Мирсаяпов – доктор технических наук, профессор
И.В. Королева – аспирант, старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряженного состояния при длительном действии статической нагрузки. Выявлены характер и механизм разрушения опытных образцов грунтов, закономерности изменения плотности грунта в характерных зонах опытных образцов. Получены данные о развитии линейных и объемных деформаций глинистых грунтов в условиях девиаторного нагружения при увеличении времени действия статического нагружения.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: длительная прочность, глинистый грунт, трехосное сжатие.

I.T. Mirsayapov – doctor of technical sciences, professor
I.V. Koroleva – post-graduate student, senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering

PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF CLAY SOIL IN THE CONDITIONS OF A SPATIAL TENSION

ABSTRACT

Results of experimental researches of physicomechanical properties of clayey soil in the conditions of a spatial tension are resulted at long action of static loading. The character and mechanism of experimented models destruction, and regularities of soil density variation in basis zones are revealed. The data on development of linear and volumetric deformations in conditions increasing tension is obtained for long-time stress.
KEYWORDS: strong, clay soil, triaxial compression.

Для качественного и количественного прогнозирования поведения грунтовых массивов оснований глубоких фундаментов, прежде всего, необходимо правильно определить прочностные и деформативные параметры грунтов основания, учитывающие их исходное напряженно-деформированное состояние, изменение реологических свойств и напряженно-деформированного состояния во время длительной эксплуатации здания.

В основании глубоких фундаментов формирование напряженно-деформированного состояния существенно отличается от характера формирования напряженно-деформированного состояния в основании фундаментов мелкого и среднего заложения [1, 4]. В процессе нагружения глубоких фундаментов выпирания грунта из-под подошвы не происходит и области предельного напряженного состояния локализуются внутри грунтового массива в нижней части боковых поверхностей фундамента (рис. 1). Следовательно, нагружение фундамента глубокого заложения сопровождается перемещением грунта вниз и в сторону, в основании реализуется сложное напряженное состояние.

Процесс разрушения основания, сложенного глинистыми грунтами, представляет собой систему последовательных нарушений условий предельного равновесия по многочисленным поверхностям разрушения, повторяющим друг друга по форме и размерам с некоторым интервалом по глубине под действием постоянной внешней нагрузки в однородном грунте [1]. В отличие от общепринятых соображений не наблюдается глубокого или общего сдвига по сплошным поверхностям скольжения в направлении от вершины уплотненного ядра в противоположные стороны вверх, а происходит уплотнение грунта по некоторой криволинейной поверхности, что обусловливает осадку фундамента и кинематическую возможность этой схемы. Указанная поверхность представляет собой геометрическое место точек, в каждой из которых выполняется условие предельного равновесия в условиях трехосного сжатия [1].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

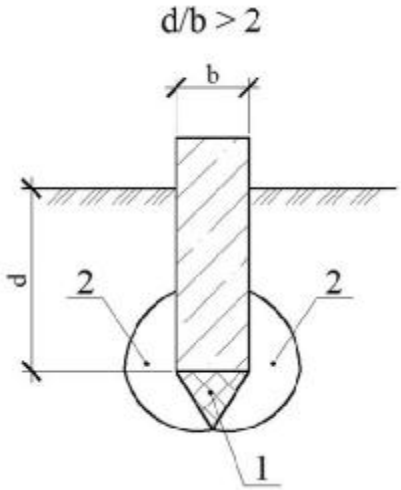


Рис. 1. Формирование областей предельного равновесия в основании глубокого фундамента: 1 – уплотненное ядро; 2 – область предельного равновесия

В связи с вышеизложенным возникает необходимость исследования изменения механических свойств глинистых грунтов в условиях пространственного напряженного состояния с учетом длительности действия нагрузки.

Авторами проведены экспериментальные исследования деформирования глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при девиаторном нагружении $y_1 > y_2 = y_3$ [2, 3].

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта нарушенной структуры [3].

После изготовления образца методом режущих колец была определена плотность грунта. На приборе одноплоскостного среза были определены прочностные характеристики образца грунта: удельное сцепление грунта **c** = 67,467 кПа, угол внутреннего трения j = 20,6^0. Отклонения по плотности и влажности в пределах высоты образца составили от заданных величин менее 1 %, что позволило считать образец однородным.

В процессе экспериментальных исследований установлены особенности деформирования и разрушения образца при длительном нагружении (рис. 3…6).

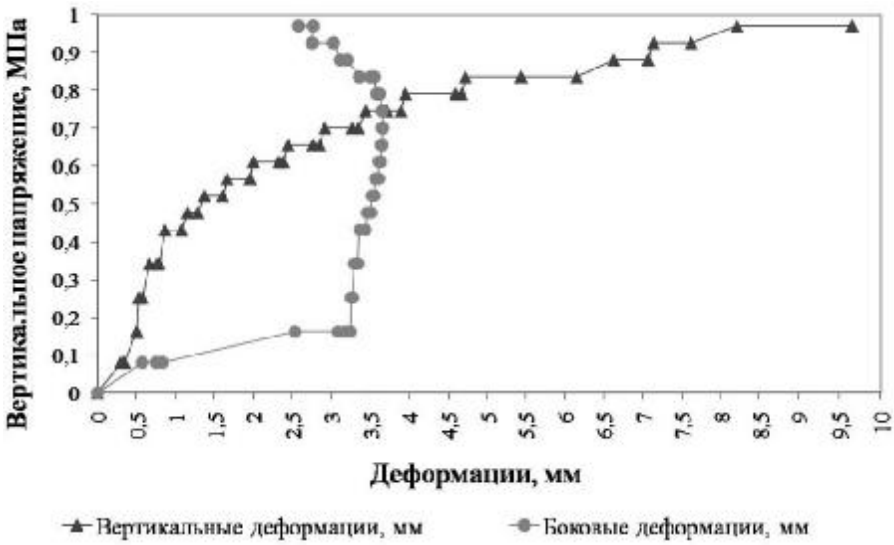


Рис. 2. График зависимости изменения линейных деформаций от роста величины вертикальных напряжений при кратковременных трехосных испытаниях

Из графиков трехосных кратковременных испытаний (рис. 2) видно, что на этапе всестороннего обжатия боковые деформации растут интенсивнее вертикальных, максимальная величина боковых деформаций достигается в момент, когда вертикальные деформации составляют 25-30 % от величины предельных деформаций при разрушении. Скорость роста вертикальных деформаций начинает увеличиваться при $s_1 > 0{,}3 \cdot s_{1разр}$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При действии длительных статических нагрузок деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний (рис. 3). Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие объемных деформаций происходило на первых этапах нагружения.

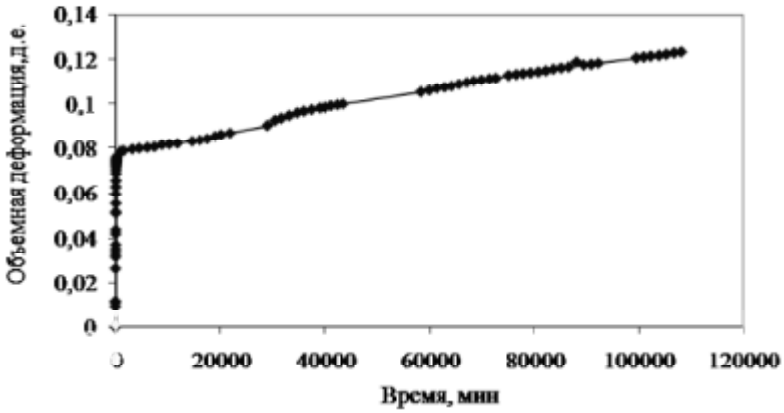


Рис. 3. График зависимости изменения объемных деформаций
во времени при длительных трехосных испытаниях

Характер изменения относительных объемных деформаций представлен на рис. 4. На графике наглядно показано, что после всестороннего обжатия (этап 1) в процессе девиаторного нагружения (этап 2) происходит нарастание объемных упругих и пластических деформаций, а нарастание объемных деформаций ползучести происходит при постоянном значении среднего напряжения в процессе длительного трехосного сжатия (этап 3).

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что при длительных нагружениях, как и при кратковременных испытаниях, разрушение образцов происходит при достижении грунтом предельных значений деформаций.

На рис. 4, 5 и 6 приведены зависимости между средними напряжениями и относительными объемными деформациями, между интенсивностью касательных напряжений и интенсивностью деформаций сдвига (диаграмма деформирования образца) и паспорт ползучести грунта. Совместный анализ приведенных графиков показывает, что при увеличении напряжений и времени действия нагрузки происходит развитие деформаций изменения объема и деформации изменения формы (положительная дилатансия) при уплотнении грунта в пределах испытанного объема.

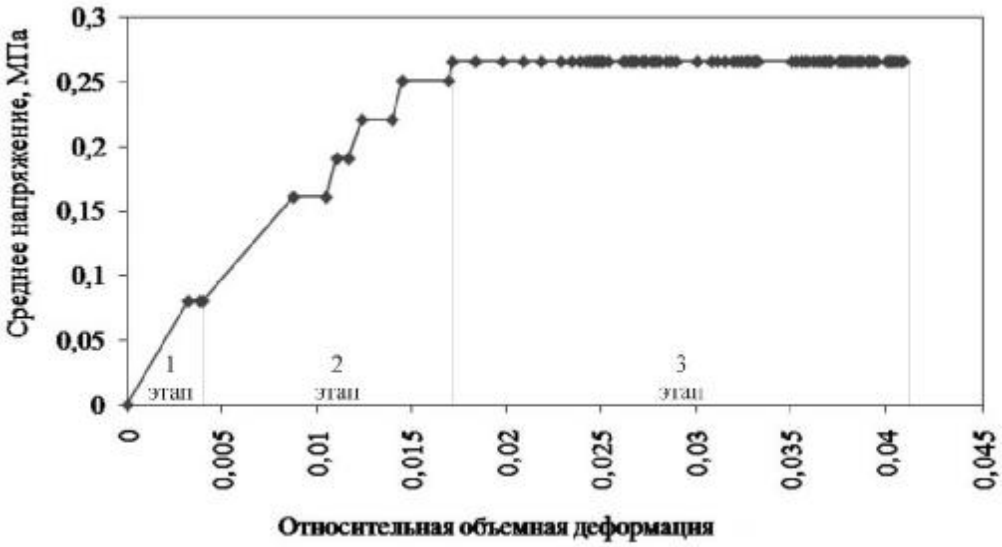


Рис. 4. График зависимости изменения относительных объемных деформаций
от роста величины средних напряжений при длительных трехосных испытаниях

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

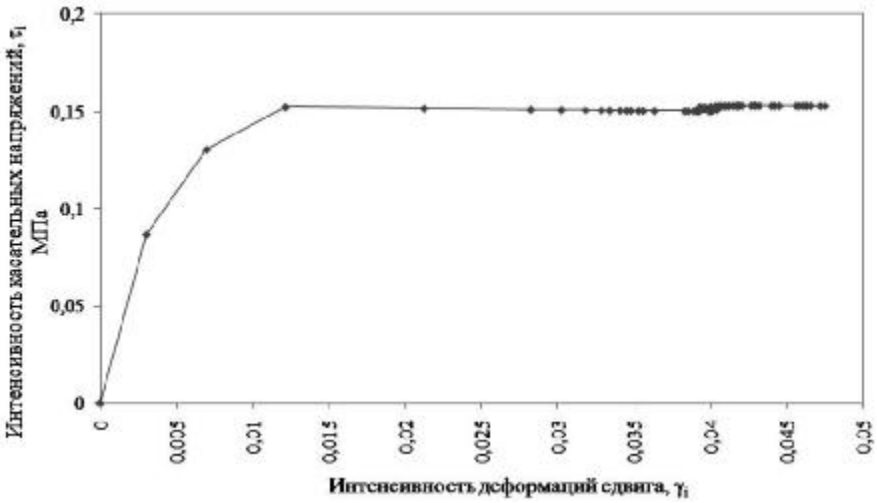


Рис. 5. Диаграмма деформирования образца грунта при длительных трехосных испытаниях

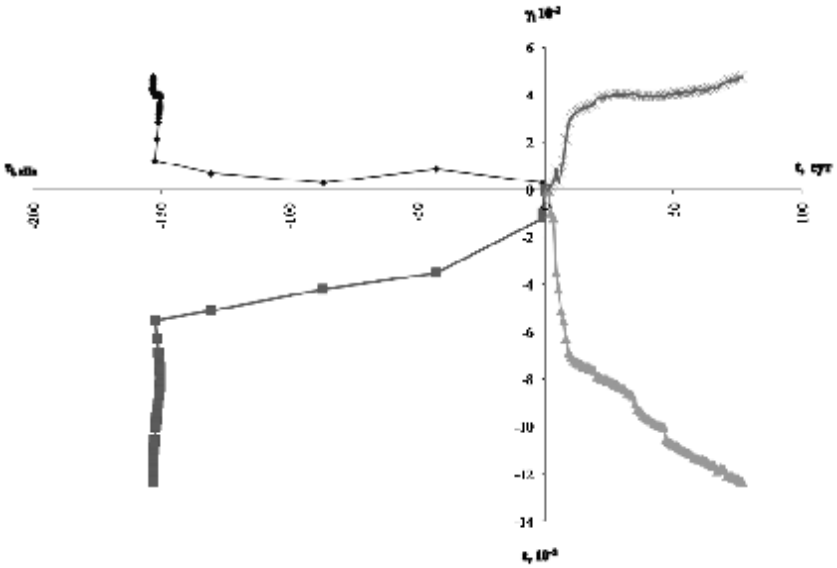


Рис. 6. Паспорт ползучести глинистого грунта при длительных трехосных испытаниях

В процессе испытаний получена характерная картина разрушения опытных образцов в условиях истинного трехосного сжатия [4].

В образце грунта были отмечены зоны различной плотности (рис. 7), отличающиеся от первоначальной величины до 15 %, причем в средней части образца при кратковременных испытаниях наблюдалось разрыхление грунта и снижение плотности до 3 %. Данные по изменению плотности в характерных зонах образца при истинном трехосном сжатии представлены в виде диаграммы (рис. 8). При проведении длительных испытаний было установлено уменьшение влажности до 3,5 %.

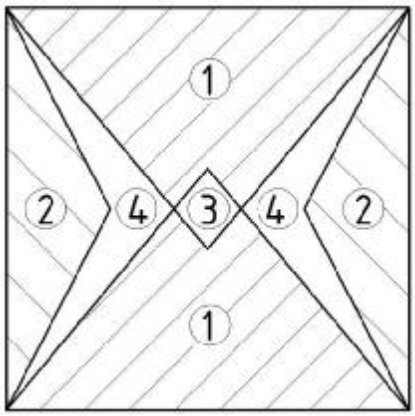


Рис. 7. Схема расположения локальных зон различной плотности в образце при трехосных испытаниях:
1 – вертикальные уплотненные пирамиды;
2 – уплотненные пирамиды у боковых граней;
3 и 4 – разуплотненные зоны

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

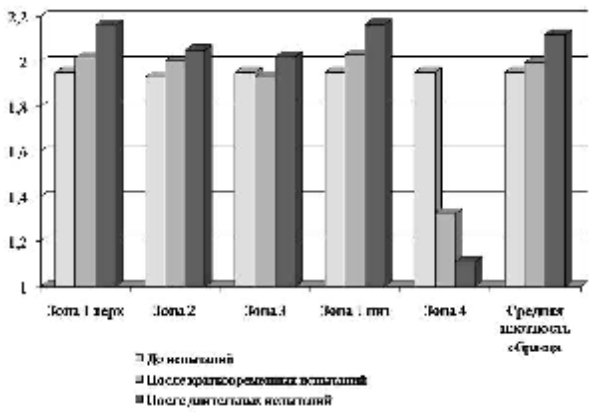


Рис. 8. Диаграмма изменения плотности в характерных зонах образца по результатам серии испытаний в условиях истинного трехосного сжатия

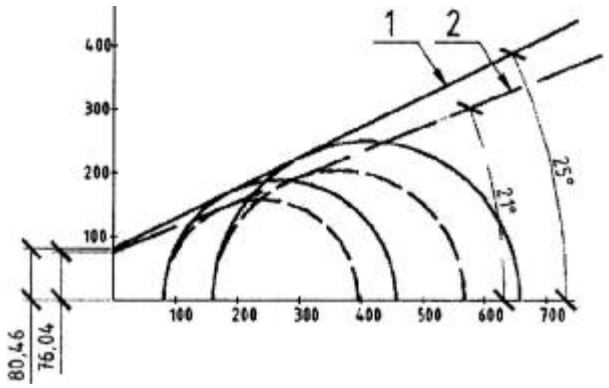


Рис. 9. Круги предельных напряжений, построенные по результатам серии испытаний и огибающие линии:
1 – для кратковременных испытаний;
2 – для длительных испытаний

По результатам серии испытаний построены круги предельных напряжений. Построенные огибающие линии (рис. 9) показывают, что при длительном нагружении происходит снижение угла внутреннего трения φ на 16 %, удельное сцепление грунта *c* уменьшается на 6 %.

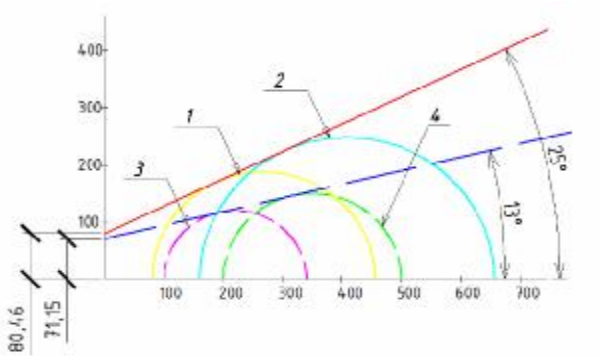


Рис. 10. Круги предельных напряжений, построенные по результатам серии испытаний:
1, 2 – по результатам испытаний на приборе истинного трехосного сжатия;
3, 4 – по результатам на приборе трехосного сжатия стабилометрического типа

Сравнивая значения *ц* и *c*, полученные по результатам испытаний в приборе истинного трехосного сжатия и приборе стабилометрического типа (рис. 10), можно сказать, что в стабилометре угол внутреннего трения грунта получился меньше на 48 %.

Для определения значений угла внутреннего трения *ц* и удельного сцепления *c* в характерных зонах образца были отобраны пробы грунта. Результаты приведены на диаграммах (рис. 11 и 12).

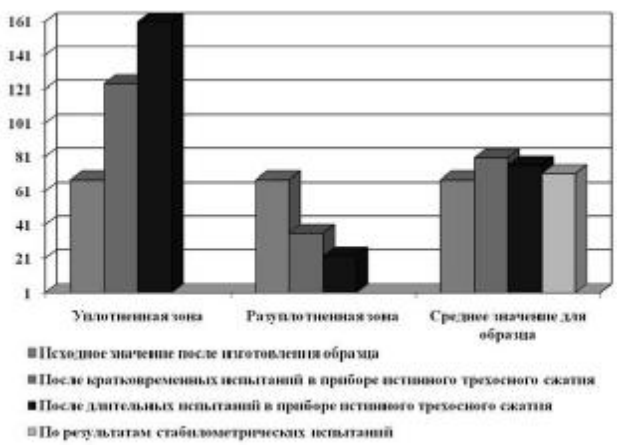


Рис. 11. Изменение удельного сцепления *c* в характерных зонах образца при трехосном сжатии

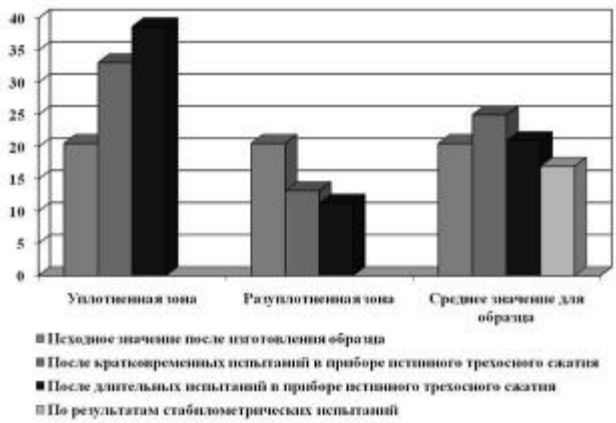


Рис. 12. Изменение угла внутреннего трения *ц* в характерных зонах образца при трехосном сжатии

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Величины φ и *c*, полученные при одноплоскостном срезе грунтов, отобранных из уплотненных зон этих образцов (рис. 11 и 12), значительно отличаются от значений, приведенных на рис. 9 (величина φ уменьшилась до 48 %, а значение *c* увеличилось до 60 %).

Это показывает, что уменьшение механических характеристик грунта при истинном трехосном сжатии в большей степени локализуется в зонах 3 и 4 (рис. 7).

В результате совместного анализа картины разрушения, схемы расположения локальных зон различной плотности (рис. 7), диаграммы деформирования образца (рис. 5) и паспорта ползучести (рис. 6) можно предположить, что при истинном трехосном сжатии образца грунта возникают различные зоны напряженно-деформированного состояния, т.е. при поэтапном увеличении нагрузки образуются уплотненные зоны в виде пирамид: сверху, в нижней части образца и у боковых граней. Верхняя и нижняя пирамиды в ходе дальнейших нагружений объединяются с образованием фигуры из двух усеченных пирамид (рис. 7).

Деформирование образца происходит за счет движения этих пирамид как жестких тел. В уплотненных зонах 1 и 2 (рис. 7) не происходит ухудшения физико-механических характеристик грунтов, а наблюдается их улучшение. Негативные процессы, снижающие физико-механические характеристики грунта, локализуются в зоне между этими «пирамидами» (зона 4 рис. 7). В локальной зоне 4 зафиксировано снижение плотности на 43 %. Исследование напряженно-деформированного состояния грунтов в этой зоне показало, что они подвергаются одновременному отрыву и сдвигу (рис. 13).

Таким образом, отрицательная дилатансия (разрыхление) глинистого грунта при длительном истинном трехосном сжатии локализуется в пределах потенциально возможных площадок предельного равновесия при положительном знаке дилатансии в интегральном объеме.

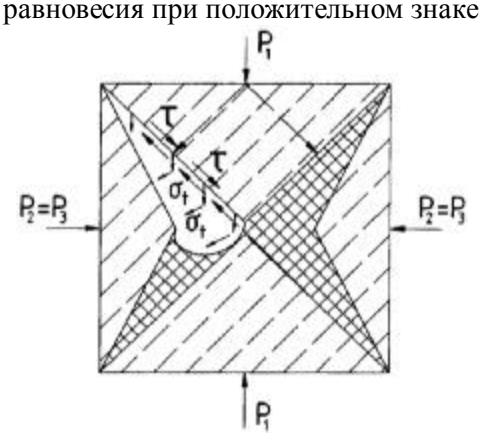


Рис. 13. Схема напряженного состояния локальных зон между уплотненными пирамидами

Заключение

При истинном трехосном сжатии в образце грунта образуются уплотненные пирамиды в виде жестких недеформируемых тел. Изменение объема и деформации формоизменения образца происходят за счет движения этих пирамид при положительной дилатансии (уплотнении) глинистого грунта в интегральном объеме. Отрицательная дилатансия грунта (разрыхление) реализуется в зоне расположения потенциально возможных площадок предельного равновесия, ориентация которых меняется в зависимости от уровня пластических деформаций и длительности нагружения. При проектировании оснований глубоких фундаментов с учетом длительности действия нагрузки необходимо уточнить последовательность механизма достижения предельного состояния и скорректировать расчетные схемы и уравнения состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорян А.А. О безопасности строительства на глинистых грунтах по первому предельному состоянию // Основания, фундаменты, механика грунтов, 2006, № 5. – С. 20-25.
2. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Экспериментальные исследования длительной прочности и деформативности глинистых грунтов при трехосном сжатии // Современные технологии в строительстве. Теория и практика; материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию строительного факультета ПГТУ. – Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2009. – С. 253-259.
3. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 167-172.
4. Тер-Мартиросян З.Г. Механика грунтов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 488 с., ил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 539.415
А.Н. Драновский – кандидат технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
А.И. Латыпов – ассистент
E-mail: airatlat@mail.ru
Казанский государственный университет

К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается проблема интерпретации результатов статического зондирования в тех случаях, когда обнаруживается неоднозначная зависимость между сопротивлением погружению зонда и глубиной зондирования. Предложен подход к объяснению механизма погружения с точки зрения возникновения автоколебательного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статическое зондирование, зонд, грунт, испытание, автоколебания.

A.N. Dranovskiy – candidate of the technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
A.I. Latypov – assistant
Kazan State University

TO INTERPRETATION OF RESULTS OF STATIC SOUNDING OF THE SOIL BASES

ABSTRACT

In work is found out the problem of interpretation of results of static sounding is considered when ambiguous dependence between resistance to immersing of a probe and depth of sounding. The approach to an explanation of the mechanism of immersing is offered from the point of view of occurrence of self-oscillatory process.

KEYWORDS: static sounding, sound, soil, test, self-oscillations.

В настоящее время зондирование является наиболее перспективным методом инженерной геологии, так как позволяет исследовать грунтовый массив на большую глубину в условиях естественного залегания при сравнительно небольших материальных затратах.

Несмотря на очевидную эффективность, отношение к методу зондирования различных специалистов неоднозначное. Это связано в первую очередь с тем, что параметры зондирования достаточно трудно связать аналитически с характеристиками грунтов, например, механическими, полученными в результате штамповых или сдвиговых испытаний. Кроме того, существует достаточно большой разброс значений определяемых характеристик из-за больших погрешностей определения параметров зондирования.

Основными измеряемыми параметрами согласно ГОСТ 19912-2001 являются удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_c; общее сопротивление грунта на боковой поверхности Q_s (для зонда типа I) и удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда f_s (для зонда типа II).

В последнее время количество параметров, регистрируемых в процессе зондирования, возросло. Например, наиболее современные установки статического зондирования позволяют регистрировать, кроме сопротивления грунта конусу зонда q_c и боковой поверхности f_s, также нормальное давление у, объемную влажность грунта щ, поровое давление P, плотность грунта с, температуру грунтов t, электрическое сопротивление R и др.

Регистрация этих параметров позволила значительно увеличить информацию о физико-механических свойствах грунтов.

При зондировании наиболее актуальными являются два вопроса, существенным образом влияющие на величины конечных характеристик.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Во-первых, выбор системы регистрации измеряемых параметров.

Различными экспериментаторами отмечалось, что при зондировании одного и того же грунтового массива разница между получаемыми результатами, в зависимости от применяемой системы регистрации, может быть весьма значительной.

Для получения информации о свойствах изучаемых грунтов при статическом зондировании используют либо механические, либо электронные системы регистрации.

В качестве механических регистрирующих устройств на установках конструкции Фундаментпроект (С-978, СП-36, СП-56), конструкции ПНИИИС и др. используют манометры и динамометры. Более современные конструкции установок статического зондирования (С-832, С-832м, СПК СПКС) снабжены электронными системами регистрации.

Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что при механической регистрации в процессе погружения зонда стрелка индикатора, например динамометра, имеет достаточно широкий диапазон колебаний. Тоже относится и к манометрам. Это затрудняет фиксацию показаний, поэтому ряд установок стал снабжаться различными демпфирующими устройствами, резко снижающими колебания стрелок. Однако это привело к тому, что регистрирующие системы стали значительно запаздывать за изменениями изучаемых параметров.

Что касается электронных систем регистрации, то они имеют заданную постоянную времени переходного процесса, что позволяет получать относительно гладкие кривые графиков зондирования.

Б.И. Кулачкиным в работе [1] был поставлен интереснейший эксперимент зондирования одной и той же площадки г. Днепропетровска тремя различными способами регистрации.

На рис. 1 изображены диаграммы, полученные электронной системой регистрации с выходом на осциллограф Н-115 (сплошная тонкая ломаная линия); электронной системой регистрации с выходом на самописец Н-390 (пунктирная линия) и механической системой регистрации с выходом на динамометр (сплошная толстая ломаная линия).

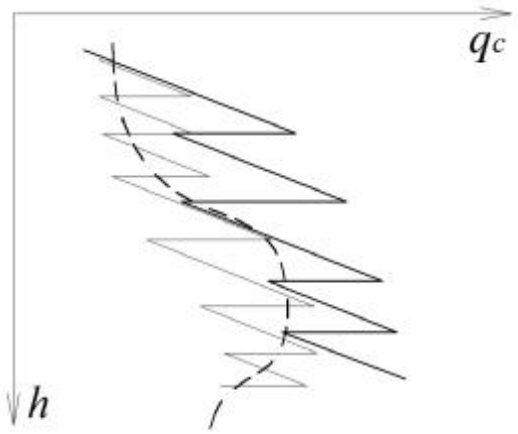


Рис. 1. Диаграммы сопротивления конусу зонда q_c при различных системах регистрации

Как видно, значения всех трех видов регистрации параметра q_c отличаются друг от друга.

Наиболее объективными являются электронная система регистрации с выходом на осциллограф и механическая система с выходом на динамометр.

Из приведенного рисунка видно, что перемещения зонда происходят дискретно, т.е. имеют место скачки регистрируемого сопротивления погружению. Причем характер диаграммы полностью аналогичен диаграмме автоколебательного разрушения грунта в запредельной стадии деформирования, полученной нами при лабораторных испытаниях песчаных образцов в сдвиговом приборе [2].

Электронная система регистрации с выходом на самописец имеет некоторое запаздывание в записи процесса, что выражается в сглаживании ломаной линии. Диаграмма в этом случае находится в полосе, окаймляющей первую диаграмму зондирования.

Б.И. Кулачкин так объясняет полученный результат: «Зонд в процессе перемещения вначале нагружает грунт, вовлекая при этом в работу определенный объем грунта, растет нагрузка, в определенный момент времени наступает предельное равновесие, происходит разрушение в объеме вовлекаемого в работу грунта, зонд перемещается (проваливается) в пределах разрушенного объема, уменьшается нагрузка. Пройдя зону предельного равновесия, зонд вновь вовлекает в работу новый объем грунта и снова происходит увеличение нагрузки, которая, возрастая, достигает предельного равновесия и т.д.

Таким образом, при наступлении предельного равновесия, грунт начинает разрушаться, причем скорость его разрушения выше скорости перемещения зонда, о чем свидетельствует пилообразная диаграмма нагрузки, причем участки снижения нагрузки скорее характеризуют систему погружения. Поэтому перемещение зонда происходит дискретно, т.е. на участке возрастания нагрузки скорость

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

практически постоянная, поскольку задавливающие устройства имеют, как правило, запас по мощности, а на ветви разгрузки происходит резкое уменьшение нагрузки и зонд как бы проваливается, причем скорость этого перемещения будет зависеть от технических характеристик системы погружения».

Автор отмечает, что все вышесказанное относится также и к регистрации второго параметра зондирования – трения грунта по боковой поверхности зонда.

Вторым, не менее важным, является вопрос интерпретации получаемых результатов трения грунта по лобовой и особенно боковой поверхностям зонда.

В зависимости от конструкции зонды могут быть двух типов: I – с наконечником из конуса и кожуха, и II – с наконечником из конуса и муфты трения.

Зонды I типа позволяют определять лобовое сопротивление грунта и суммарную величину сопротивления трения по боковой поверхности. При этом весьма неоднозначным является вопрос определения величины бокового трения. Г. Санглера [3] отмечает наблюдаемое падение величины бокового трения с глубиной зондирования. По его мнению, это свидетельствует о том, что увеличение бокового трения при проходке пластов может быть меньше, чем уменьшение величины локализованного трения в покровных пластах грунта. Поскольку величина падения трения в верхних пластах неизвестна, то и величина трения во вновь проходимых пластах также остается неизвестной. Поэтому невозможно получить точное представление о роли отдельных проходимых пластов грунта на основании измерения величины бокового трения.

В сравнительно однородных грунтах снижение сопротивления верхних слоев при зондировании обнаружить трудно, так как это снижение перекрывается обычно увеличением общего сопротивления за счет увеличения глубины погружения зонда. Однако при напластовании грунтов различной прочности иногда снижение сопротивления верхних слоев оказывается настолько значительным, что уже не компенсируется вовлечением в работу новых слоев грунта.

Таким образом, измерение трения грунта по боковой поверхности зонда I типа не может быть использовано для определения прочностных характеристик грунтов, так как не дает конкретных численных значений сопротивляемости отдельных слоев.

Этого недостатка лишены зонды типа II с муфтой трения, позволяющей определять удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности.

Тем не менее, применение зонда II типа не всегда дает удовлетворяющие исследователей результаты.

Как уже отмечалось выше, несмотря на ряд очевидных достоинств, метод зондирования в настоящий момент рассматривают в основном как способ уточнения данных бурения и для расчета несущей способности свайных фундаментов, которая определяется как сумма лобового сопротивления и бокового трения.

Для определения физико-механических свойств грунтов используют различные корреляционные зависимости между параметрами зондирования и искомыми характеристиками. Так, существуют методики по определению по значениям q_c плотности, модуля деформации, консистенции глинистых грунтов, угла внутреннего трения ц, сцепления и др.

Ограниченность использования метода статического зондирования для определения физико-механических характеристик грунтов вызвана, прежде всего, отсутствием серьезных и полноценных исследований процесса перемещения зонда в грунте, взаимосвязи зондирования с другими методами испытаний грунтов, а также наличием больших погрешностей при определении параметров зондирования из-за их существенного разброса.

Результаты статического зондирования грунтовых оснований приводятся, как правило, в виде диаграмм зависимостей q_c и f_s от глубины погружения h. При этом получаемые диаграммы имеют вид ломаных линий зачастую с довольно резкими скачками фиксируемых параметров.

Подобная неравномерность связывается большинством исследователей с неоднородностью грунтового основания. Вместе с тем результаты бурения не выявляют обычно подобного чередования прослоев грунта с различными прочностными свойствами.

В качестве примера можно привести исследования, выполненные при статическом зондировании площадки строительства Дворца водных видов спорта в Ново-Савиновском районе г. Казани установкой УЗК-15 (зонд II типа). Зондирование было выполнено в 10 точках.

На рис. 2 представлена диаграмма зондирования в точке статического зондирования №1. Инженерно-геологический разрез площадки приведен в таблице 1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

№ ИГЭ	Характеристика ИГЭ	Мощность, м
НС	Насыпь супесчано-глинистая, с включением строительного мусора	1,5
3в	Суглинок мягкопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	2,8
3б	Суглинок тугопластичный коричневый, макропористый, ожелезненный	1,6
7а	Песок средней крупности водонасыщенный желтовато-коричневый, средней плотности	5,6

В интервале глубины 5,9-11,5м залегает слой песчаного грунта ИГЭ7а со следующими характеристиками: природная влажность 0,18-0,25, плотность с=1,99-2,10 г/см^3, коэффициент пористости е=0,50-0,67, угол внутреннего трения ц=31-36°, модуль деформации Е=28-45 МПа.

По данным инженерно-геологического отчета ОАО «КазТИСИз», в ИГЭ7а не выявлено наличия существенных прослоев и неоднородных включений. Однако как видно из приведенной диаграммы, скачки q_c внутри одного слоя достигают 7-10 МПа, f_s – 80-120 кПа.

При интерпретации данных зондирования в этом случае приходится сталкиваться с определенными трудностями, связанными с определением расчетных значений прочностных характеристик.

Г. Санглера [3] указывает, что когда в обследуемой толще встречается гравий или отдельные камни, или когда толща грунта представляет свиту из прослоек неоднородных грунтов, кривые на графике носят пилообразный характер, что отражает значительные колебания в величине сопротивления грунта по глубине толщи. В этом случае предлагается проводить кривую по нижним точкам, по минимальным полученным значениям сопротивления грунтов.

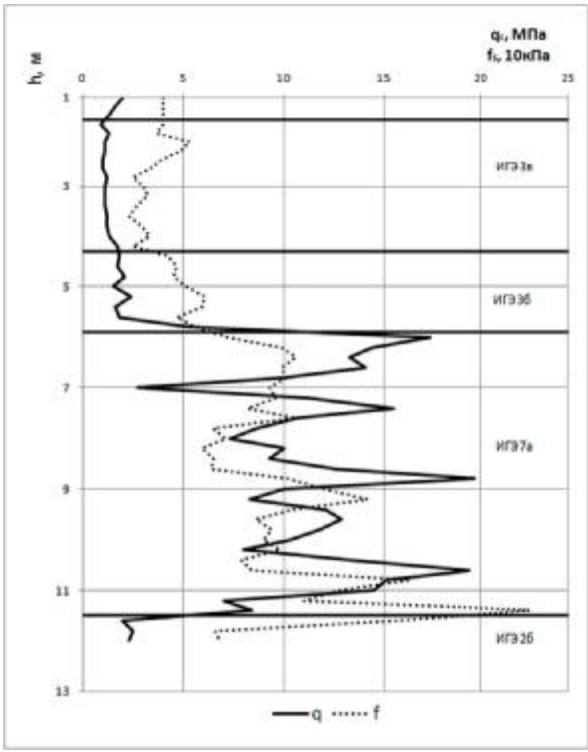


Рис. 2. График статического зондирования в ТСЗ № 1 объекта: Дворец водных видов спорта, г. Казань (— q_c, --- f_s)

Однако, это может привести к значительному занижению определяемых характеристик. Так, подобная обработка данных в вышеприведенном примере приведет к занижению q_c в 2-3 раза, f_s – в 1,5-2 раза по сравнению с пиковыми значениями.

Согласно СП 50-102-2003 при определении несущей способности свай по результатам статического зондирования значение q_c принимается осредненным в пределах одного диаметра выше и четырех диаметров ниже отметки острия сваи, а f_s – средним на боковой поверхности зонда.

Подобный подход не учитывает кинетику процесса перемещения зонда в грунте и поэтому определяемые значения характеристик не имеют физического смысла.

Представляется, что подобные скачки могут быть связаны с появлением автоколебаний системы «зонд-грунт».

В работе [4] показано, что критерий возбуждения автоколебаний определяется соотношением жесткости упругой части системы и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления деформированию грунтового массива.

Жесткость системы определяется в основном жесткостью стержня зонда как функции от его длины (глубины погружения)

$$K = \frac{AE}{l_{ff}} = \frac{\Delta N}{\Delta l}, \qquad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где *Дl* – упругое приращение свободной эффективной длины, соответствующее приращению усилия погружению *ДN*; *A* – площадь сечения стержня; *E* – модуль упругости; l_{ff} – свободная эффективная длина стержня.

Как видно, с увеличением длины зонда его жесткость пропорционально уменьшается. Многочисленные наблюдения при проведении полевых работ свидетельствуют о том, что наблюдаются случаи изгиба стержня зонда при погружении, особенно при прохождении песчаных грунтов. Это связано, прежде всего, с малым по сравнению с длиной диаметром стержня зонда и, как следствие, его высокой гибкостью. По мере роста вдавливающей нагрузки величина изгиба увеличивается, а в системе происходит накопление упругой энергии до некоторого критического значения, после чего зонд с высокой скоростью разгружается, возвращая первоначальную форму равновесия, т.е. происходит переход стержня зонда из неустойчивого состояния в устойчивое. Таким образом, изгиб стержня зонда может служить причиной дискретного характера погружения.

Для проверки данного утверждения в рассматриваемых инженерно-геологических условиях была решена задача по определению величины прогиба стержня зонда.

Решение для стержня жесткостью *K*, работающего в упругом полупространстве с коэффициентом отпора грунта *к(x)* и трением по боковой поверхности *Q(x)*, получено В.М. Улицким и К.Г. Шашкиным [5].

Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня в этом случае будет иметь вид:

$$EIw'^{v}+\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w''-Q(x)w'+k(x)w=$$

$$=-\left(F-\int_0^x Q(x)dX\right)w_0''+Q(x)w_0', \qquad (2)$$

где *E* – модуль упругости материала стержня, *I* – момент инерции сечения, *F* – величина действующего усилия, *Q(x)* – сопротивление по боковой поверхности стержня, *к(x)* – коэффициент отпора грунта, принимаемый согласно таблице Д1 Приложения Д СП 50-102-2003, *w* – определяемый прогиб, w_0 – начальное искривление оси стержня.

Решение данного уравнения было запрограммировано М.А. Прыгуновым для различных исходных данных с помощью метода конечных разностей [6].

На рис. 3 приведена полученная с помощью данного алгоритма зависимость прогиба стержня зонда от глубины.

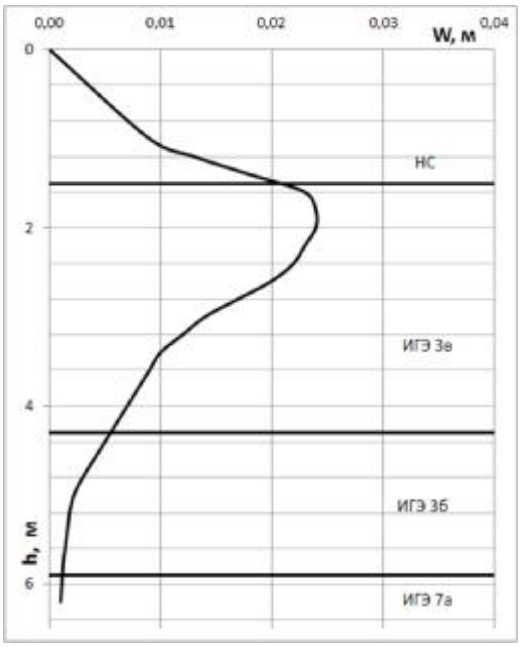


Рис. 3. Зависимость прогиба стержня зонда от глубины

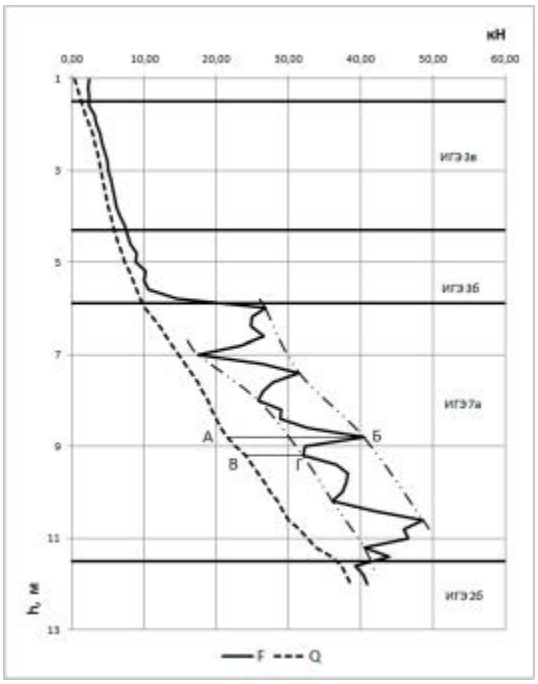


Рис. 4. Диаграмма полного сопротивления погружению зонда (*F*) и сопротивления по боковой поверхности (*Q*) в ТСЗ № 1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В качестве расчетной была принята длина l=5,9 м, соответствующая входу конуса зонда в слой ИГЭ7а. Полное сопротивление погружению в этой точке резко увеличивается до значения F=20 кН (см. рис. 4).

E=215 ГПа (сталь 38ХГС),

$I = \frac{\pi}{64}(d_н^4 - d_{вн}^4) = \frac{\pi}{64}(0{,}036^4 - 0{,}018^4) = 0{,}77 \cdot 10^{-7} м^4$ – момент инерции трубчатого сечения стержня зонда с наружным диаметром $d_н$=36 мм, внутренним $d_{вн}$=18 мм.

Видно, что при прохождении зондом слоя ИГЭ7а в более слабых слоях НС, ИГЭ3в, ИГЭ3б возможно появление продольного изгиба стержня и, как следствие, возникновение автоколебаний системы «зонд-грунт».

Необходимо отметить, что при решении данной задачи одновременно проверялось условие возможной потери устойчивости стержня в грунте, за факт которой принималось превышение сопротивления погружению над значением критической силы

$$P_{cr} = mn2\sqrt{k(x)d_н EI} < F, \quad (3)$$

где m – поправочный коэффициент, учитывающий длину зонда и жесткую заделку верха стержня зонда; n – коэффициент, учитывающий трение по боковой поверхности зонда [6].

$$P_{cr} = 1{,}62 \cdot 1{,}028 \cdot 2\sqrt{2968 \cdot 0.036 \cdot 16{,}555} = 132{,}1 кН > F = 20 кН.$$

Значение критической силы превышает сопротивление погружению в несколько раз, что связано прежде всего с высоким значением коэффициента отпора грунта $k(x)$=2968 кН/м^4.

В данном случае вопрос принятия значения коэффициента отпора является весьма неоднозначным. Дело в том, что процесс погружения зонда и изгиба его стержня является циклическим. Сначала на стержень передается некоторое усилие, которое одновременно с погружением вызывает его изгиб, ограниченный отпором окружающего его грунта. Через некоторый интервал нагрузка снимается для наращивания штанг, что вызывает возвращение стержня в первоначальное прямолинейное состояние. При этом вокруг стержня в грунте образуется полость, и при повторном нагружении изгиб будет происходить на начальной стадии в воздушной среде. С увеличением количества циклов величина полости увеличивается. Очевидно, что значение коэффициента отпора грунта будет зависеть от величины этой полости. Поэтому задачу необходимо рассматривать и решать как задачу возникновения продольного изгиба стержня и возможной потери устойчивости в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба. Исследования в данном направлении продолжаются и в рамках данной статьи не приводятся.

Вывод о дискретности процесса погружения подтверждает приведенная на рис. 4 диаграмма полного сопротивления погружению зонда $F=R+Q$ в рассматриваемой точке статического зондирования ТСЗ № 1.

Как видно, до глубины 5,9 м процесс погружения происходит достаточно равномерно, без существенных колебаний значения сопротивления. Затем, при входе зонда в слой ИГЭ7а, наблюдаются значительные колебания определяемых параметров.

Пунктирной линией показано полное сопротивление по боковой поверхности.

$$Q = u\sum f_{si}h_i, \quad (4)$$

где u – периметр зонда, f_{si} – сопротивление по муфте трения, h_i – мощность i-го слоя грунта.

На полученной диаграмме можно выделить пиковые (точка Б) и минимальные (точка Г) значения сопротивления погружению зонда. Штрихпунктирной линией показаны огибающие максимумов и минимумов.

Таким образом, на глубине h=8,8 м в точке Б реализуется максимальное сопротивление конусу $q_{c,max}= R_{max}/A$, а в точке Г – минимальное $q_{c,min}= R_{min}/A$.

Графически сопротивление под конусом зонда $R=Aq_c$ может быть определено как разница между полным сопротивлением F и общим сопротивлением по боковой поверхности $R=F-Q$, т.е значение R_{max} соответствует участку АБ, R_{min} – участку ВГ.

Тогда в ТСЗ № 1 имеем:

R_{max}=0,0189 МПа, R_{min}=0,008 МПа, $q_{c,max}$=19,7 МПа, $q_{c,min}$=8,3 МПа.

Согласно таблице 3 приложения «И» СП 11-105-97 для глубины h>5 м сопротивлению $q_{c,max}$=19,7 МПа соответствует угол внутреннего трения $ц_{max}$=36,4°, а значению $q_{c,min}$=8,3 МПа – $ц_{min}$=32,2°.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Среднее значение $q_{c,cp}=(q_{c,max}+q_{c,min})/2=(19,7+8,3)/2=14$ МПа соответствует сопротивлению трения скольжения, реализующемуся на участках разгрузки. Соответствующий этому значению $u_{cp}=34,7°$ – угол трения скольжения.

Аналогичная обработка была выполнена и в других точках статического зондирования. В таблице 2 представлены результаты обработки данных по пяти точкам для глубины h>5 м.

Таблица 2

№ ТСЗ	$ц_{max}$, град	Нормативное значение $ц_{max}$, град	$ц_{min}$, град	Нормативное значение $ц_{min}$, град	$ц_{ср}$, град	Нормативное значение $ц_{ср}$, град
1	36,4	36,3	32,2	33,7	34,7	35,1
3	35,7		32,5		34,3	
7	36,3		34,1		35,2	
15	36,4		34,9		35,6	
17	36,5		35		35,6	

Таким образом, для ИГЭ7а имеем нормативное значение $u_{max}=36,3°$ (среднее квадратическое отклонение $y=0,29$, коэффициент вариации $V=0,08$), $u_{min}=33,7°$ ($y=1,18, V=0,04$), $u_{cp}=35,1°$ ($y=0,51, V=0,01$).

Полученная диаграмма подтверждает дискретный механизм погружения зонда. На участках возрастания усилия погружения происходит накопление упругой энергии в системе до некоторого пикового значения F_{max}. Процесс погружения при этом характеризуется ростом нагрузки без существенного перемещения зонда по глубине, но с появлением продольного изгиба стержня зонда. С ростом нагрузки система «зонд-грунт» переходит в состояние предельного равновесия и в определенный момент зонд резко перемещается со скоростью, значительно большей, чем на участке нагружения. При этом на участке разгрузки реализуется сопротивление скольжения.

Экспериментальные исследования образцов песчаного грунта в сдвиговом приборе [2, 7] при автоколебаниях позволили получить такие прочностные параметры грунта, как сопротивление скольжению, сопротивление страгиванию, угол трения скольжения, угол зацепления, связность частиц грунта. Эти характеристики позволяют выполнить обоснованную оценку и выбор критериев разрушения и определения параметров прочности при статических и динамических нагрузках.

При проведении статического зондирования грунта распространено использование систем регистрации с демпфирующими устройствами, например, систем с выходом на самописец. При использовании же механических систем регистрации показания снимаются с интервалом до 0,5-1 м по глубине. Все это снижает трудоемкость обработки результатов, но искажает реальную картину процесса взаимодействия зонда с грунтом. Таким образом, для фиксации автоколебаний системы «зонд-грунт» при проведении статического зондирования необходимо применение систем непрерывной регистрации, позволяющих отслеживать параметры дискретного погружения с целью определения статических и динамических характеристик прочности грунта.

Выводы

1. Эффективность применения метода статического зондирования грунтов ограничивается неоднозначностью интерпретации получаемых при зондировании результатов.
2. Анализ существующей литературы показал, что в работах различных авторов имеются сведения, свидетельствующие о фиксации в процессе зондирования неожидаемых резких изменений фиксируемых параметров.
3. Многочисленные экспериментальные данные, как собственные, так и других исследователей, позволяют предположить, что механизм взаимодействия зонда с грунтом имеет дискретный характер, который может быть связан с возбуждением в системе «зонд-грунт» автоколебательного процесса.
4. Накопление упругой энергии в системе «зонд-грунт» происходит, по-видимому, вследствие изгиба стержня зонда, который необходимо рассматривать как задачу возможной потери устойчивости стержня в воздушной среде с ограниченной величиной максимального изгиба.
5. Наиболее предпочтительными при выполнении зондирования являются системы непрерывной регистрации изучаемых параметров.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6. Фиксация параметров автоколебаний при проведении статического зондирования представляется перспективной с точки зрения определения статических и динамических характеристик прочности грунтовых оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулачкин Б.И. Экспериментально-теоретические исследования и разработка метода зондирования в инженерной геологии // Дисс. доктора г.-м. наук. – М., 1990.
2. Латыпов А.И., Савкин С.М. О прочностных свойствах песчаных грунтов при автоколебательном разрушении // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 55-57.
3. Санглера Г. Исследование грунтов методом зондирования. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971.
4. Драновский А.Н. О механизме дискретного деформирования грунтов // Современные проблемы фундаментостроения: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, часть 3, 4. – Волгоград: ВолГАСА, 2001. – С. 34-37.
5. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. – М.: Изд-во АСВ, 1999.
6. Прыгунов М.А. Устойчивость буроинъекционных свай // Дисс. канд. техн. наук. – Казань, 2004.
7. Савкин С.М., Латыпов А.И. Определение статических и кинетических характеристик сопротивления грунтов разрушению // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та украпнська науково-технічна конференція – Механіка грунтів та фундаментобудування, Вып. 53. кн. 1. – Кипв: НДІБК, 2000. – С. 215-220.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.8: 631.2
М.В. Бодров − кандидат технических наук, ассистент
E-mail: tes84@inbox.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

АННОТАЦИЯ

Разработана методика расчета теплоустойчивости животноводческих зданий и овощекартофелехранилищ, для которых характерна цикличность поступления теплоты в течение суток. При нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждений за расчетный должен приниматься цикл естественной вентиляции, в котором складываются наиболее неблагоприятные температурные условия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициенты теплоусвоения и теплоустойчивости ограждения и помещения, циклы работы систем активной и естественной вентиляции.

M.V. Bodrov – candidate of technical sciences, assistant
Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Engineering

THERMAL STABILITY OF THE PRODUCTION AGRICULTURAL BUILDINGS

ABSTRACT

Is developed the procedure of calculation of the thermal stability of cattle-breeding buildings, vegetable storages and the potato storehouses, for which the cyclic recurrence of the entering of heat in the course of twenty-four hours is characteristic. During rate setting of the thermo-technical characteristics of external enclosures for the calculated must start the cycle of natural ventilation, in which are added the most unfavorable temperature conditions.

KEYWORDS: the coefficients of heat-mastering and thermal stability of enclosure and accommodation, the cycles of the work of the systems of the active and natural ventilation.

Введение. Под теплоустойчивостью помещений понимают их свойство поддерживать относительное постоянство температур при периодически изменяющихся теплопоступлениях. В животноводческих помещениях температурный режим, соответствующий максимальной продуктивности животных, можно рассчитывать как для гражданских и промышленных зданий по приводимым в нормативной и специальной литературе зависимостям [1, 2]. Этот вывод базируется на постоянстве (стационарности в течение суток) поступления теплоты в помещения, сток теплоты в них зависит только от изменения температуры наружного воздуха. Тепловой режим хранилищ картофеля и овощей отличается цикличностью (в соответствии с режимами работы систем активной вентиляции) поступления теплоты в свободный объем помещения в течение суток. В статье рассмотрены особенности расчета теплоустойчивости помещений для содержания животных и разработана методика расчета теплоустойчивости помещений овощекартофелехранилищ.

Теплоустойчивость животноводческих и птицеводческих помещений. Укажем основные особенности и последовательность расчета теплоустойчивости животноводческих помещений. Соотношение между колебаниями теплового потока и температуры на поверхности ограждения определяется коэффициентом теплоустойчивости *Y*. Зависимость теплового потока от температуры воздуха выражается коэффициентом теплопоглощения ограждения $B = A_q / A_{t_в}$. Затухание амплитуды температуры воздуха $A_{t_в}$ при переходе тепловой волны от помещения к внутренней поверхности ограждения, на которой амплитуда колебания равна $A_{ф_в}$, рассчитывается по формуле:

$$A_{t_в} / A_{ф_в} = 1 + Y_1 / б_в, \quad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где Y_1 – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения; $Y_1 = A_q / A_{ф_в}$; индекс у коэффициента показывает порядок отсчета слоев в ограждении по направлению движения теплового потока q.

Коэффициент теплопоглощения ограждения B показывает колебания амплитуды теплового потока, проходящего через поверхность ограждения, к вызывающей этот поток амплитуде колебания температуры окружающего воздуха. Значение коэффициента теплопоглощения B, Вт / (м^2 °С), равно:

$$B = A_q / A_{t_в} = Y_1 / (1 + Y_1 / б_в) = 1/(1/Y_1 + 1/б_в). \quad (2)$$

Амплитуда изменения теплового потока A_q, поглощаемого поверхностью при колебаниях температуры среды $A_{t_в}$, составляет $A_q = BA_{t_в}$. Если ограждение имеет площадь F, то амплитуда A_Q изменения всего количества теплоты, поглощаемого этой поверхностью, составляет $A_Q = BFA_{t_в}$. Так как в животноводческих помещениях амплитуда колебаний температуры воздуха для всех ограждающих поверхностей одинакова, а в каждый момент между количеством теплоты, подаваемой в помещение и поглощаемой его поверхностями, существует равенство – амплитуда теплопоступлений A_Q равна амплитуде теплопоглощений всеми поверхностями:

$$A_Q = \sum BFA_{t_в}. \quad (3)$$

Из (3) имеем основное уравнение теплоустойчивости:

$$A_{t_в} = A_Q / P. \quad (4)$$

В (4) $P = \sum YF$ – показатель теплопоглощения помещения, равный суммарной теплопоглощающей способности всех поверхностей в помещении. Приведенные зависимости позволяют с достаточной точностью провести расчет колебаний температуры воздуха в животноводческих помещениях.

Теплоустойчивость овощекартофелехранилищ. Проведенные исследования [3, 4] позволяют сделать вывод о большой тепловой инерционности как насыпей сочного растительного сырья (СРС), так и хранилищ в целом. Выполненные теплофизические расчеты по определению теплоустойчивости наружных ограждений типовых хранилищ дают значения показателя затухания температурных колебаний для бесчердачных покрытий $n \approx 700$ и для наружных стен $\nu \approx 400$, показателя запаздывания сквозного проникновения температур соответственно $\varepsilon \approx 23$ ч и 26 ч. Поэтому суточные колебания температуры наружного воздуха не оказывают практического влияния на температуру их внутренних поверхностей. Подтверждением этого положения являются полученные нами термограммы и гигрограммы параметров воздуха в зимний период года (рис. 1) в полузаглубленном картофелехранилище. На термограмме отчетливо наблюдаются моменты включения и продолжительность работы систем активной вентиляции по характерному снижению температуры. Параметры относительной влажности воздуха в хранилище $j_в^х$ более стабильны.

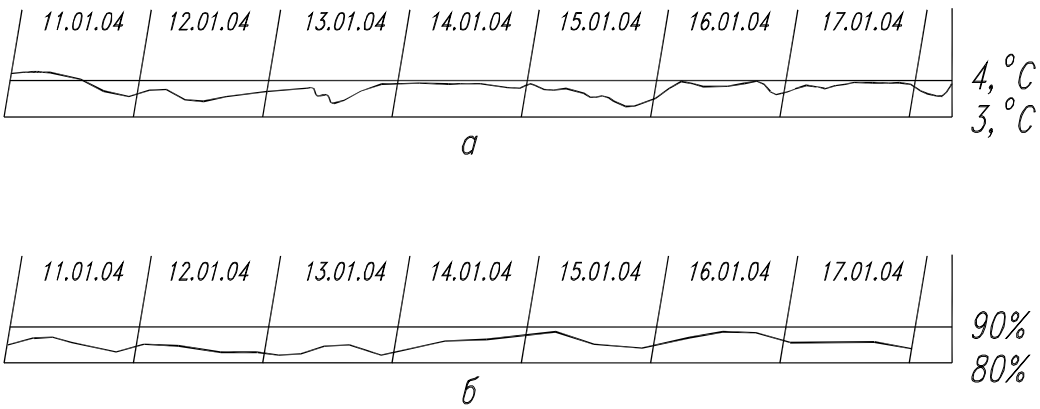


Рис. 1. Изменение параметров воздуха над насыпью клубней: *а* – термограмма; *б* – гигрограмма

Выявим периоды наиболее неблагоприятных температурных условий в свободном объеме хранилища V_c, создающихся при цикличной работе систем активной вентиляции (САВ). Такие исследования необходимы для уточнения минимальной мощности систем отопления, а также для

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

обоснования выбора объективных исходных данных при нормировании и расчете теплотехнических характеристик наружных ограждений хранилищ.

Количество теплоты, поступающей в верхнюю зону хранилища, меняется во времени. Во время цикла естественной конвекции (ЕК), когда САВ не работают, максимальное количество поступающей теплоты равно:

$$Q_{\text{ЕК}}^{max} = Q_{\text{б}} ш_{\text{к}} . \quad (5)$$

Коэффициент $\psi_к$ показывает отношение удаляемой естественной конвекцией теплоты из насыпи картофеля или овощей к теплоте дыхания продукции. Он принимается по полученной нами экспериментальной зависимости (6) или по рис. 2, полученному на основе анализа литературных данных.

$$ш_{\text{к}} = 2{,}95 u_{\text{Е}} / h q_{\text{СРС}} . \quad (6)$$

Естественная конвекция может снять всю теплоту дыхания при значении комплекса $q_{\text{СРС}} h / u_{\text{Е}} \le 2{,}95$. Доля биологической теплоты, удаляемой естественной конвекцией, снижается с уменьшением скорости воздуха в насыпи $u_{\text{Е}}$, м/с, с увеличением высоты насыпи h, м, и интенсивности удельных тепловыделений сочного растительного сырья $q_{\text{СРС}}$, Вт/т.

Среднечасовое количество теплоты, вносимое за цикл ЕК в свободный объем хранилищ, составляет $Q_{\text{ЕК}}^{\text{ср}} = Q_{\text{ЕК}}^{max}$. В период цикла вынужденной конвекции (ВК), длящегося m ч, доля теплоты дыхания не превышает для картофеля и свеклы 1,8 %, для моркови 1,9 %, для капусты 2,8 % [6]. Основное количество теплоты поступает в хранилище с воздухом, нагреваемым в слое СРС. Выразим его среднеарифметической величиной теплопоступлений в начале и в конце цикла ВК $Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} = (Q_{\text{ВК}}^{max} + Q_{\text{ВК}}^{min}) / 2$.

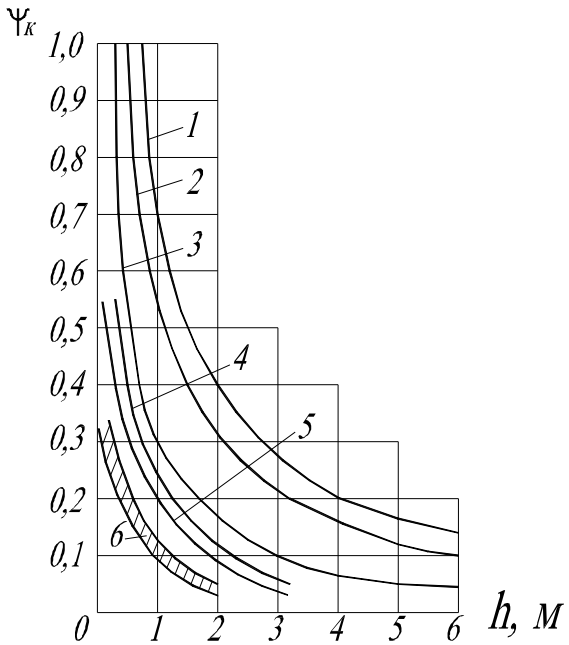


Рис. 2. Значения коэффициента $ш_{\text{к}}$ для насыпей клубней и кочанов: *1* – нетравмированные клубни с $q_{\text{СРС}}$ по [5]; *2* – травмированные клубни с $q_{\text{СРС}}$ по [5]; *3* – среднереализуемая насыпь клубней [6]; *4* – нетравмированные кочаны с $q_{\text{СРС}}$ по [5] до усадки; *5* – среднереализуемая насыпь кочанов до усадки [6]; *6* – нетравмированные кочаны с $q_{\text{СРС}}$ по [5] после усадки [6]

При расчете теплоустойчивости помещений хранилищ возмущающие воздействия в свободной верхней зоне за полный цикл работы САВ можно представить количественно следующими величинами: подача теплоты отсутствует в период ЕК длительностью ($1 - K_{\text{в}}$), где $K_{\text{в}} = m / T$ – доля времени цикла вынужденной конвекции; количество теплоты равно постоянной величине $Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}}$ в период цикла ВК длительностью $K_{\text{в}}$ (жирная пунктирная линия на рис. 3).

Среднечасовое количество теплоты определяется из выражения:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} = [q_{\text{СРС}} G_{\text{р}} K_{\text{в}} + Q_{\text{ЕК}}^{\text{ср}} (1 - K_{\text{в}})] / K_{\text{в}} . \quad (7)$$

Коэффициент прерывистости Ω зависит от величины коэффициента $K_{\text{в}}$ и момента времени z / T, для которого определяется значение $\Delta\text{ф}_{\text{в.п}}$. Максимальное повышение температуры поверхности ограждения соответствует моменту времени окончания подачи теплоты, то есть моменту окончания цикла ВК (рис. 3).

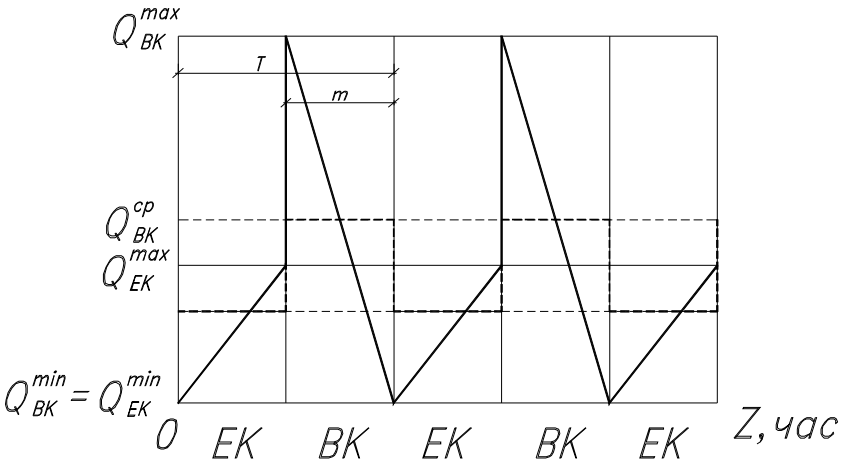


Рис. 3. Интенсивность поступления теплоты в верхнюю зону хранилища

Показатель теплопоглощения помещения определяется по значениям показателей теплопоглощения Y_i и площадей F_i отдельных ограждений аналогично значению P в формуле (4): $Y_n = \sum Y_i F_i$.

Полный перепад температур поверхностей за время T составляет:

$$\text{ф}_{\text{в.п}}^{max} - \text{ф}_{\text{в.п}}^{min} = Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} (\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_n , \quad (8)$$

где Ш_{max} и Ω_{min} – максимальное и минимальное значения коэффициента прерывистости [1].

При цикличном притоке теплоты в хранилище изменение температуры воздуха свободного объема $\Delta t_{\text{в.п}}$ отличается от изменения температур поверхностей наружных ограждений $\Delta t_{\text{в.п:}}$:

$$\Delta t_{\text{в.п}} = \Delta\text{ф}_{\text{в.п}} + Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} / \Lambda . \quad (9)$$

Полный перепад температуры воздуха за период времени T выразится зависимостью:

$$t_{\text{в.п}}^{max} - t_{\text{в.п}}^{min} = t_{\text{в.п}}^{max} - t_{\text{в.п}}^{min} + Q_{\text{в.п}}^{\text{ср}} / \Lambda , \quad (10)$$

где $\Lambda = \sum a_{\text{к}i} F_i$ – показатель конвективного теплообмена в помещении.

Отклонение температур поверхностей и воздуха в помещении в любой момент через z ч после начала тепловыделений определяется по методике, приведенной в [1].

Пример. Определим теплоустойчивость помещения типового хранилища.

Навальное картофелехранилище имеет емкость $G_{\text{р}}$ = 1200 т, высота насыпи h = 3,0 м, интенсивность биологических тепловыделений $q_{\text{СРС}}$ = 17,0 Вт/т, объем насыпи клубней $V_{\text{к}}$ = 1850 м^3. Температура поступающего в насыпь воздуха $t_{\text{в.о}}$ = 1,5°С, допустимое колебание температуры насыпи $t_{\text{к } max}$- $t_{\text{к } min}$ = 2 °С, минимальная температура воздуха в хранилище в конце цикла вынужденной конвекции $t_{\text{в}}$ = 2,5 °С, коэффициент $K_{\text{в}}$= 0,229 (m = 5,5 ч).

Интенсивность естественной конвекции в насыпи (м/ч) при средней разности температур клубней и воздуха хранилища $\Delta t_{\text{ВЕ}}$ = 2°С равна [6]:

$$u_{\text{Е}} = 0,94.10^{-3} 3600 \Delta t_{\text{в.е}} = 0,94.3600 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 6,76 \text{ м/ч}.$$

По (7) определим среднечасовое количество теплоты, удаляемой из насыпи:

$$Q_{\text{в.к}}^{\text{ср}} = [q_{\text{СРС}} G_{\text{р}} K_{\text{в}} + 0,587 G_{\text{р}} u_{\text{Е}} (1 - K_{\text{в}}) / h] / K_{\text{в}} =$$

=[17,0·1200·0,229+0,587·1200·6,76(1–0,229)/3]/0,229=25750 Вт.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При m = 5,5 ч, T =2 4 ч значения $\Omega_{max} = 0{,}829,\ \Omega_{min} = -0{,}545$ [1].

Значения показателя теплоусвоения помещения Y_n находим по [1]. Наружная стена выполнена из силикатного кирпича δ = 0,64 м, $F_{ст}$ = 595 м^2. Бесчердачное покрытие $F_{покр}$ = 1080 м^2 состоит из водоизоляционного ковра, выравнивающего слоя, теплоизоляции (керамзита), пароизоляционного слоя и несущих железобетонных ребристых плит. Внутренние стены площадью $F_в$ = 120 м^2 из силикатного кирпича, пол из асфальтобетона $F_{пл}$ = 108 м^2. Поверхность картофеля в теплопоглощении не участвует.

Вычисленные значения показателей теплоусвоения для отдельных видов ограждений равны: для наружных стен $Y_н$ = 9,75 Вт/(м^2 °С); для покрытия $Y_п$ = 8,50; для внутренних стен $Y_в$ = 6,53; для пола $Y_п$ = 32,6 Вт/(м^2 °С). Показатель теплоусвоения хранилища:

$$Y_п = 35{,}07 \cdot 595 + 30{,}58 \cdot 1080 + 23{,}5 \cdot 120 + 117{,}36 \cdot 108 = 19\,270 \text{ Вт / °С}.$$

Полный перепад температур поверхностей

$$t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min} = Q_{в.к}^{ср}(\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_п = 25750[0{,}829 - (-0{,}545)] / 19270 = 1{,}84 \text{ °С}.$$

Для предотвращения конденсации влаги на ограждениях минимальное значение перепада температур внутреннего воздуха и внутренних поверхностей принимаем равным 0,6 °С.

По [7] коэффициенты конвективной теплоотдачи для помещений с повышенной относительной влажностью для вертикальных и горизонтальных поверхностей равны:

$$\alpha_{к.в} = 10{,}9\sqrt[3]{(t_в - \tau_в)};\ \alpha_{к.г} = 13{,}4\sqrt[3]{(t_в - \tau_в)}.$$

Тогда $б_{к.в} = 10{,}9\sqrt[3]{0{,}6} = 9{,}22 \text{Вт / (м}^2\,^oC);\ a_{к.г} = 13{,}4\sqrt[3]{0{,}6} = 11{,}33 \text{Вт / (м}^2\,^o\text{С)}.$

Показатель конвективного теплообмена в помещении $\Lambda = 17730 \text{Вт/}^o\text{С}$. Полный перепад за цикл работы САВ по (10) составляет ($t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min}$)= 1,84 + 25750 / 17730 = =1,84 + 1,45 = 3,29 ^{o}С.

Для г. Нижнего Новгорода с $t_н$ = – 31 °С разница в теплопотерях хранилищем между началом и концом цикла работы САВ составляет $\{100[2+3.29-(-31)]/\{2-(-31)]\} - 100$ =11 %.

Заключение. Теплоустойчивость животноводческих помещений рассчитывается по методике для производственных зданий, приводимой в нормативной и специальной литературе. Разработанная методика расчета теплоустойчивости овощекартофелехранилищ позволила выявить, что наиболее неблагоприятные температурные условия в помещениях хранилища создаются в цикле естественной конвекции, когда теплопоступления в верхнюю зону минимальны. Поэтому период цикла естественной конвекции должен приниматься в качестве расчетного при нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций: минимальные температуры $t_в$ и максимальные значения относительной влажности внутреннего воздуха $\varphi_в$ из рекомендуемых [5] для каждого из видов хранящейся продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
2. Кувшинов Ю.А. Развитие теории теплоустойчивости // Сб. трудов II съезда АВОК, т. 1, 1992. – С. 35-43.
3. Волков М.А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.
4. Жадан В.З. Влагообмен в плодоовощехранилищах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.
5. ОНТП 6-86. Общесоюзные нормы технологического проектирования зданий и сооружений для хранения и переработки картофеля и плодоовощной продукции. – М.: Минплодоовощхоз СССР, 1986. – 40 с.
6. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата. – Горький: Волго-Вятск. кн. изд-во, 1985. – 220 с.
7. Егиазаров А.Г., Кокорин О.Я., Прыгунов Ю.М. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий. – Киев: Будівельник, 1976. – 223 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.512.621.928
М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
Р.М. Гильфанов – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕСИ В АППАРАТАХ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ МУЛЬТИФАЗНЫХ ПОТОКОВ. ЧАСТЬ 1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ
Работа посвящена проблемам моделирования мультифазных потоков применительно к циклонной сепарации промышленных выбросов. Рассмотрены методы математического описания движения изотермических криволинейных дисперсных потоков с учетом двухстороннего сцепления твердой фазы и несущей среды.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование, мультифазные потоки, циклонная сепарация, двухстороннее сцепление.

M.G. Jihanshin – candidate of the technical sciences, associate professor
A.M. Ziganshin – candidate of the technical sciences, associate professor
R.M. Gilfanov – candidate of the technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

SETTLEMENT PARAMETERS OF THE SUSPENSION SEDIMENTATION IN DEVICES WITH THE ROTARY MOTION OF MULTIPHASE FLOWS. A PART 1. MODERN METHODS OF MULTIPHASE FLOWS SIMULATION

ABSTRACT
Work is devoted problems of multiphase flows simulation with application to cyclonic separation of industrial emissions. The mathematical description of movement of isothermal curvilinear disperses streams taking into account two-way coupling of a solid and the carried flow is considered.
KEYWORDS: simulation, multiphase flows, cyclonic separation, two-way coupling.

Описание реального движения дисперсного потока в циклонах связано с рядом принципиальных затруднений. К одной из основных сложностей можно отнести учет влияния различия форм и размеров элементов дисперсной фазы на их взаимодействия между собой и с несущей фазой. Задача определения параметров, отвечающих за степень согласованности движения фаз от их совместного слаженного перемещения до полной сепарации, не поддается аналитическому решению. В последнее время наблюдается развитие способов упрощений, направленных на обеспечение математического моделирования процесса взаимодействия элементов дисперсной фазы и несущего потока. Процессы, рассматриваемые в данной работе, касаются очистки промышленных газовых выбросов с диспергированной твердой фазой, концентрация частиц в которых сравнительно невысока. При этом турбулентность газового потока может заметно влиять на перемещения частиц и стать основной проблемой моделирования.

Во многих численных моделях явно или неявно предполагается, что частицы значительно меньше всех линейных масштабов турбулентности. Движение таких точечных частиц и величину точечных сил, приложенных этими частицами к газовой фазе, рассчитывают по выражениям для сопротивления одиночной сферы в однородном потоке и определяют соответствующее изменение (модификацию) турбулентности. По [1] подобная расчетная техника может быть приемлема для частиц и вихрей, значительно различающихся в размерах. Но в практических задачах диаметр

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

частицы d может иметь одинаковый порядок с линейным масштабом Колмогорова з для однофазного потока, ввиду чего развитие физически приемлемых моделей для случая d ~ з требует самого скрупулезного моделирования взаимодействий между частицами и турбулентностью.

Во многих работах, связанных с перемещениями частиц в турбулентных потоках, указывается на неоднозначную сложность процессов, происходящих в реальных системах. Частицы могут концентрироваться локально в областях потока с низкой интенсивностью турбулентности. Затем частицы, в зависимости от инерции (т.е. их размеров и масштаба вихрей) и величины образовавшейся локальной концентрации, могут погасить турбулентность, или же, наоборот, повысить ее интенсивность. В зонах с локальным завышением концентраций становится важным также учет столкновений частиц между собой и со стенками каналов. Поэтому выбор способа моделирования сцепления импульсов и сил между элементами дисперсной фазы и фазой носителя может стать ключевым условием правильного определения характеристик движения и сепарации реальных двухфазных потоков. В [1] в качестве основы моделирования движения обеих фаз приняты: нестационарное уравнение Навье-Стокса для несжимаемой среды, представляющее уравнение сохранения импульсов,

$$\partial \mathbf{u}/\partial t + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\, \mathbf{u} = \nabla \cdot y / c + g, \qquad (1.1)$$

второй закон Ньютона для поступательного движения i-той частицы

$$m_i dV_i / dt = m_i g - \int_{\partial Щ_i(t)} y \cdot n \, dS \qquad (1.2)$$

и уравнение Эйлера для ее вращательного движения

$$\frac{d}{dt}\left(\mathbf{I}_i\, \omega_i\right) = -\int_{\partial \Omega_i(t)} \left(\mathbf{x} - \mathbf{X}_i\right) \times \left(\sigma \cdot \mathbf{n}\right) dS \ , \qquad (1.3)$$

где **u** – вектор скорости потока, с – плотность жидкости, g – ускорение силы тяжести, m_i – масса, $\mathbf{I}_i$ – матрица моментов инерции, V_i – линейная и $щ_i$–вращательная скорость i-той частицы, **n** – единичный нормальный вектор, у - тензор напряжений для ньютоновской жидкости:

$$y = -\, p\mathbf{I} + м[\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^{\mathbf{T}}], \qquad (1.4)$$

где р, м – давление и динамическая вязкость жидкости, индекс Т означает транспонирование.

Интегралы в уравнениях (1.2) и (1.3) соответствуют полной силе и крутке для i-той частицы в несущей среде; $\partial Щ_i(t)$ – пределы интегрирования по объемам $Щ_i(t)$, занимаемым *i*-той частицей в момент времени *t*. Положение центра *i*-той частицы $\mathbf{X}_i$ и углы (Эйлера) $И_i$ определяются из решений уравнений

$$d\mathbf{X}_i/dt = V_i; \qquad (1.5)$$

$$dИ_i/dt = щ_i. \qquad (1.6)$$

Точное решение уравнений (1.1)-(1.6) с начальными и граничными условиями на поверхностях частиц требует больших вычислительных ресурсов вследствие необходимости расчетов сцепленных характеристик всех частиц с потоком. Подобные принципы заложены в технике произвольных функций Лагранжа-Эйлера (ALE) [2], которая моделирует полностью сцепленное движение частицы с использованием перемещающейся сетки конечных элементов. Чтобы сократить количество расчетов и повысить устойчивость решения, для жидкой и твердой фаз формулируется комбинированное уравнение импульса. Это позволяет избежать вычисления гидродинамических сил и моментов на каждой частице в явном виде. Так как частицы могут свободно перемещаться в пределах вычисляемой зоны в соответствии с силами, приложенными к ним окружающей жидкостью, в т.ч. – сближаться и сталкиваться. Чтобы программа их при этом замечала, возникает необходимость создания очень мелкой сетки, которая охватывала бы близко расположенные частицы. Для сокращения вычислительных затрат вводится дополнительная фиктивная сила, позволяющая частицам сближаться только до определенного расстояния друг с другом или с ограждениями. Однако для повышения точности расчетов это расстояние должно быть как можно меньшим. Недостатком техники ALE является также искажение сетки в процессе моделирования из-за движения частиц, после которого необходимо регенерировать сетку и переносить на нее решение, полученное на старой сетке. Это ведет к увеличению вычислительных затрат, а также служит источником ошибки из-за прогнозирований, которые выполняются после каждой регенерации.

Johnson и Tezduyar [3, 4, 5, 6] разработали технику DSD/SST «deformable-spatial-domain/stabilized space-time» (деформируемый пространственный домен/устойчивое пространство-время) для трехмерного моделирования взаимодействий системы «жидкость – частицы». Рассматривалось падение от 5 до 1000 сфер в трубе с жидкостью при числах Re_p от 100 до 8. Расчетная сетка перемещалась с центром масс падающих сфер. Частоту регенераций сеток уменьшали за счет определения внутренних смещений узла с помощью модифицированных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

уравнений линейной эластичности. В течение каждого шага по времени положения частицы и скорости обновлялись с использованием неявного вычисления приложенных к частице сил и импульсов. Скорости частиц, столкнувшихся в течение шага по времени, корректировались в соответствии с предположением об упругом соударении.

Авторами работ [7, 8, 9] использованы сверхкомплектные сетки (или сетки Химеры), для моделирования трехмерного потока вокруг одинарной неподвижной или вращающейся частицы в течении Couette между двумя движущимися стенами, а также движения группы капель и потока через трубу, заполненную неподвижными сферическими частицами. Система сверхкомплектных сеток составляется из вторичной сетки, пригнанной к границам области моделирования, и основной сетки, установленной на частице, по которой решаются уравнения для потока в области, окружающей неподвижное или движущееся тело. Узлы основной сетки размещают непосредственно на поверхности частицы, как и в ALE. Части вторичной сетки, которые попадают под основную сетку, маркируются как дырочные точки и игнорируются, а решение по этой области идет от основной сетки. Если какие-то точки на основной сетке оказываются вне границ зоны моделирования, они также отмечаются как дырочные. Для обмена информацией между сетками используется вставка на краю основной сетки и на краю области отверстий вторичной сетки. Техника сверхкомплектных сеток обеспечивает пространственное решение потока носителя на поверхности частицы. Однако она не применялась к сцепленной задаче для свободно перемещающихся частиц, т.к. нет эффективных алгоритмов, обеспечивающих устойчивость численных расчетов при вычислении сил и импульсов на поверхности частицы в явном виде.

Сетки с узлами, привязанными к частице, соответствуют граничным условиям без проскальзывания, что важно для области умеренных значений Re. В ряде способов используют расчетные сетки без размещения узлов на поверхности частицы, как бы рассматривая только однофазный поток. Затем моделируют присутствие в нем частицы, изменяя некоторым образом уравнение движения несущей среды.

В работе [10] представлен способ моделирования потока с движущимися границами (приближение фиктивного домена), использующий технику «распределенного множителя Лагранжа» (distributed Lagrange-multiplier DLM). При помощи техники DLM на регулярной сетке методом конечных элементов решается комбинированное уравнение импульса частиц и жидкости. Считается, что жидкость заполняет всю область решения. Чтобы движение каждого объема жидкости, который имитирует твердое тело (частицу), было жестким (не деформируемым), для него определяется множитель Лагранжа. Его рассматривают как дополнительную массовую силу, обеспечивающую «квазитвердое» движение объемов жидкости, которые были бы заняты частицами. Чтобы указанные объемы несущей среды не накладывались при моделировании, в уравнения Ньютона-Эйлера добавляют силы, взаимно отталкивающие «квазитвердые» области друг от друга на близких расстояниях. В [11] приводится новая формулировка DLM, позволяющая моделировать системы с приблизительно равной плотностью несущей среды и дисперсной фазы, например, эмульсии. Внутри «квазитвердой» области тензор степени деформации принимается равным нулю. При этом линейные и угловые скорости частицы не появляются в комбинированном уравнении импульса жидкости и частицы. Поэтому такая формулировка удобна для трехмерных моделей с частицами неправильной формы. Вместе с тем очевидно, что техника DLM пока вряд ли может быть применена для реальных промышленных выбросов и стоков, имеющих в наличии большое количество взвешенных частиц. Пока она была использована для двумерного и трехмерного моделирования осаждения нескольких сотен круглых и сферических элементов.

Близка к методу DLM по удобству моделирования движения с откликом частицы к потоку носителя техника «подводных границ» (the immersed boundary technique). Присутствие твердой границы моделируется добавлением силового слагаемого в уравнении импульса жидкости, которое решается по всей области, включая область твердой фазы (частиц). Силовое слагаемое определено таким образом, чтобы на границе твердой фазы было удовлетворено условие отсутствия проскальзывания. Метод «подводных границ» использует регулярную структурированную сетку, расположение границы твердой фазы в которой, как правило, не совпадает с расположением искомых параметров жидкости. Поэтому силы по месту расположения неизвестных величин определяются посредством итерации. Усилия прикладываются изнутри и снаружи к узлам, ближайшим к границе твердой фазы, таким образом, чтобы профиль скоростей, соответствующий скорости частицы, заканчивался по месту расположения «подводной границы». Этими усилиями создается и подстраивается обратный ток внутри твердофазной области.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Получивший в последнее время распространение метод решетки Больцмана (lattice Boltzmann method, LBM) основан на упрощенных моделях молекулярно-кинетической теории, с таким представлением молекулярного движения в несущей среде, чтобы ее макроскопические усредненные параметры подчинялись уравнениям неразрывности. Методом LBM находят на регулярной решетке функцию распределения скорости для дискретизированной системы «несущая среда – частицы». При этом несущая среда подвергается обработке непосредственно как ансамбль микроскопических частиц («молекул»). Плотность и скорость жидкости могут быть вычислены на основе мгновенных функций распределения скорости, а давление определяется из уравнения состояния.

Для рассмотрения в технике в LBM частиц и твердых границ используются граничные узловые элементы, в которых плотность системы «жидкость – частицы» изменяется от плотности фазы несущей среды до плотности твердой фазы. Граничные узлы расположены в центрах тех звеньев решетки несущей среды, которые пересекают границу твердой фазы. Поэтому решение по границе поверхности твердой фазы зависит от интервала решетки. LBM используется для моделирования несжимаемых потоков. В работе [12] отмечается, что LBM дает хорошие результаты в области умеренных чисел Рейнольдса, а при больших значениях Re его применение является ограниченным вследствие влияния сжимаемости потока несущей среды. Однако последнее обстоятельство не может существенно повлиять на точность расчетов циклонной сепарации промышленных выбросов, поскольку даже в скоростных вихревых сепараторах скорость потока не превышает 30-40 м/с. Подробное обсуждение преимуществ и недостатков техники LBM с точки зрения затраты вычислительных ресурсов приведено в [13].

Вычисления для реальных дисперсных потоков требуют на несколько порядков более мощных вычислительных ресурсов по сравнению с существующими сегодня. Возможности вычислительной техники обеспечивают трехмерное моделирование не более нескольких сотен частиц. Пока можно ставить задачу расчета потоков, приближенных к реальным, если только отказаться от непосредственного определения сил и вращающих моментов по поверхности каждой частицы. Необходимо использование дополнительных упрощений в моделировании потоков вокруг каждой частицы с целью определения параметров движения частиц, вызываемых их взаимодействием с фазой носителя. Для перемещения частицы через расчетную область течения без определения его параметров на каждой поверхности раздела фаз используется лагранжево уравнение движения частицы. Maxey и Riley [14] было представлено уравнение движения частицы от первых принципов с включением влияния пространственных изменений на скорости фазы носителя для условия неоднородной турбулентности:

$$m_p \frac{d\mathbf{V}}{dt} = 3\pi\mu d\left(\mathbf{u}-\mathbf{V}+\frac{d^2\nabla^2\mathbf{u}}{24}\right)+\frac{3}{2}d^2\sqrt{\pi\rho\mu}\int_0^t\left[\frac{d}{d\tau}\left(\mathbf{u}-\mathbf{V}+\frac{d^2\nabla^2\mathbf{u}}{24}\right)/\sqrt{t-\tau}\right]d\tau+$$
$$+\frac{1}{2}m_f\frac{d}{dt}\left(\mathbf{u}-\mathbf{V}+\frac{d^2\nabla^2\mathbf{u}}{40}\right)+m_f\frac{D\mathbf{u}}{Dt}+\left(m_p-m_f\right)\mathbf{g}, \qquad (1.7)$$

где m_p, m_f – массы частицы и жидкости, перемещенной частицей; **V**, **u** – скорости частицы и жидкости, не возмущенной присутствием частицы; $D/Dt = \partial/\partial t + \mathbf{u}\cdot\nabla$; $d/dt = \partial/\partial t + \mathbf{V}\cdot\nabla$ есть полные производные последующего локального элемента жидкости и последующей частицы. Все члены уравнения (1.7) для не возмущенной жидкости вычисляются по положению центра частицы.

В правой части уравнения (1.7) первый член – вязкая (стоксовская) сила сопротивления; второй член – изменение силы Basset, которая представляет увеличение вязкого сопротивления в нестационарном режиме; третий член – добавленная массовая сила, которая требуется для ускорения объема жидкости, перемещаемого сферой; четвертый член – сила, возникающая за счет градиента давления и вязких напряжений в не возмущенной жидкости; пятый член – сила тяжести.

В уравнении (1.7) предполагается, что размер частицы пренебрежимо мал по сравнению с линейным масштабом Колмогорова з в невозмущенном потоке, степень деформации незначительна, и число Re_p невелико. Для турбулентного течения эти три ограничения могут быть выражены как d << з, d^2 << нф$_k$ и

$$d\,|\mathbf{u} - \mathbf{V}| << \text{н}. \qquad (1.8)$$

Этими условиями ограничивается применимость уравнения движения частицы Maxey-Riley. Для областей течений, где число Re_p не соответствует стоксовскому режиму движения потока, как это требуется по условию (1.8), используются уравнения, подобные по своей структуре (1.7), с корректировкой тех или иных членов. Подобная форма уравнения движения частицы при умеренных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

числах Re_p дана в работе [15]. Пренебрегая корректировками Факсена из-за искривления невозмущенного поля скоростей и с учетом влияния силы тяжести для сопоставимости с уравнением (1.7), уравнение движения частицы в пределах умеренных чисел Re_p представляется в виде:

$$m_p \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \mathbf{F}_d + 3\pi\mu d \int_{-\infty}^{t} K(t-\tau,\tau)\left(\frac{d\mathbf{u}}{d\tau} - \frac{d\mathbf{V}}{d\tau}\right)d\tau + C_M m_f \left(\frac{D\mathbf{u}}{Dt} - \frac{d\mathbf{V}}{dt}\right) + m_f \frac{D\mathbf{u}}{Dt} + \left(m_p - m_f\right)\mathbf{g} \quad (1.9)$$

В (1.9) каждое слагаемое имеет тот же физический смысл, как и в уравнении (1.7). Стационарная сила вязкого сопротивления F_d зависит от мгновенной скорости невозмущенной жидкости и скорости центра частицы. Для определения F_d при Re_p<800 может быть использована общая корреляция Schiller и Nauman, основанная на данных опытного и численного моделирования:

$$\mathbf{F}_d = 3\pi\mu d\left(\mathbf{u} - \mathbf{V}\right)\left(1 + 0{,}15\mathrm{Re}_p^{0{,}687}\right) \quad (1.10)$$

Второе слагаемое учитывает предысторию процесса (влияние динамики потока до начала событий на исследуемый процесс). Оно отличается от соответствующего слагаемого в (1.7) нижним пределом интегрирования и формой подынтегрального выражения. В (1.7) предполагалось отсутствие создаваемого частицей в потоке возмущения до t = 0. В [16] показано, что при несоответствии между скоростью частицы и невозмущенного потока в момент времени t = 0, когда частица попадает в поток, на ней формируется вихревой слой, что ведет к большому начальному сопротивлению. Для учета начального различия скорости частицы и невозмущенной жидкости необходимо дополнительное условие. В [17] показано, что интеграл предыстории с нижним пределом -∞ эквивалентен интегралу с нижним пределом 0 и дополнительным членом, учитывающим начальное различие скоростей.

Для потока с однородной турбулентностью и умеренными значениями Re_p к основному содержанию («ядру») предыстории процесса в работе [18] предложено дополнение в виде K (t – ф, ф) в виде $(t - ф)^{-1/2}$ для коротких и $(t - ф)^{-2}$ для более длительных промежутков времени. Ввод времени ф до начала событий (попадания частицы в поток) делается для учета возрастания вязких напряжений в нестационарном, например, колеблющемся потоке. Вместе с тем при реальной неоднородной турбулентности течения определение формы функции для выражения предыстории частицы принципиально затруднительно. Отделить стационарные и нестационарные эффекты в турбулентном течении невозможно, и трудно составить зависимость, подходящую индивидуально для каждого случая. Согласно с расчетами [15, 17] предыстория не существенна при моделировании свободного переноса частицы в некоторый поток, протягиваемый снаружи, из-за того, что временное и конвективное ускорения малозаметны для частицы. Динамика предыстории также несущественна для плотной частицы, введенной в стационарную и колеблющуюся жидкость.

В слагаемых добавленной массовой силы по (1.7) и (1.9) производные скорости невозмущенной жидкости различаются по форме. По [19], необходимо использовать полную производную скорости жидкости *D/Dt* вместо *d/dt*, а по [14] при малых числах Re_p эти две производные неразличимы.

В потенциальном и ползущем режимах потока добавленный массовый коэффициент C_M равен 1/2. В работе [18] найдено, что добавленная массовая сила при конечном Re_p была той же, как в ползущих и потенциальных режимах обтекания неподвижной частицы в колеблющемся свободном потоке. Расчетами для неподвижной частицы в линейно ускоренных или замедленных потоках [20] также верифицировано соответствие дополнительного массового слагаемого в вязком режиме для частиц в потоках с временным ускорением.

Результаты работ [21, 15], посвященных моделированию частиц в потоках с конвективным ускорением, показывают возможность использования соответствующего слагаемого уравнения (1.9) для описания дополнительной массовой силы, существенной в вязких потоках с умеренным числом Re_p.

В случаях, где диаметр частицы имеет порядок линейного масштаба флуктуаций в потоке, принципиально возможно использование коррекции Факсена из-за искривления невозмущенного поля скоростей с целью обеспечения точности расчетов сил на поверхности частиц. Однако математические формулировки коррекций получены аналитически только для небольших чисел Re_p, как в уравнении (1.7). При моделировании обтекания частиц криволинейными потоками выражения вводящие поправки Факсена необходимы были бы для всех слагаемых уравнения (1.9): и стационарного вязкого сопротивления, и предыстории, и дополнительной массовой силы. При этом, в соответствии с [1], коррекции Факсена будут иметь сложную зависимость от искривления поля скоростей даже для простых потоков и пока в приемлемом для расчетов виде не существуют.

В уравнениях (1.7, 1.9) отсутствуют слагаемые, характеризующие подъемные силы, действующие на не вращающиеся частицы в поперечном направлении (силы Жуковского), и на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

вращающиеся частицы (силы Магнуса). Их математические выражения также получены аналитически в предположении о небольшом значении числа Re_p. Подъемные силы для частиц в потоках с умеренным Re_p из-за скоростных флуктуаций предполагаются ничтожно малыми в сравнении с силой сопротивления в том же направлении.

По (1.9) можно вычислить параметры движения частицы без решения потока на ее поверхности. При этом предполагается, что частицы намного меньше любых из включаемых в рассмотрение линейных масштабов турбулентности потока и могут считаться точечными. Уравнение (1.9) в представленном виде подходит для моделирования односторонне сцепленных потоков. Для двухстороннего сцепления необходимо смоделировать воздействие силы движущейся частицы на поток и вычислить соответствующие изменения параметров (модификацию) фазы носителя. С этой целью к правой части (1.9) требуется добавление дополнительного силового члена. Для нахождения такой зависимости можно предположить, что на фазу носителя каждой частицей прилагается точечная сила, равная по величине и противоположно направленная силе, действующей на частицу в несущей среде. Тогда сила, определяемая в процессе вычисления по каждому узлу сетки потока, представляется в виде взвешенной комбинации точечных сил от частиц внутри некоторой локальной области. Такую технику называют приближением точечной силы.

В работе [22] рассматриваются условия ее применимости для двухстороннего сцепления. Поскольку в уравнении (1.9) как математической модели точечно-силового приближения след частицы во внимание не принимается, оно может считаться приближенным к реальности, если след будет рассеиваться вязкими силами. Это имеет место при d<<з. Следовательно, это и одно из основных условий применимости точечно-силового приближения. Далее, для расчетов движения частицы по уравнению (1.9) требуются величины скорости невозмущенной жидкости в координатах, соответствующих центру частицы. Так как при двухстороннем сцеплении точечные силы движущихся частиц оказывают воздействие на несущую среду, то скорость невозмущенной жидкости не определяется. По [22], при использовании в (1.9) скорости возмущенной жидкости вместо невозмущенной величина ошибки д = d/Дх, где Дх – интервал сетки, используемой при решении. Поэтому появляется дополнительное ограничение на использование точечно-силового приближения: d << Дх.

При прямом численном моделировании (DNS) турбулентных течений теоретически рассматриваются пульсации во всем диапазоне масштабов, а в вычислительной практике – начиная с линейного масштаба Колмогорова. Для этого интервал сетки должен позволять «видеть» его: з ~ Дх. Если d имеет одинаковый порядок с з турбулентного дисперсного потока, то оба условия, ограничивающие применимость точечно-силового приближения, нарушаются. Авторы [1], основываясь на обзоре экспериментальных исследований последних десятилетий, приходят к выводу, что для многих видов запыленных турбулентных потоков d ~ з. В качестве примера они приводят результаты экспериментальных исследований Paris A. D. и Eaton J. K. (2001 г.) по двухсторонним сцеплениям с использованием стеклянных частиц с d = 150 мкм в турбулентном потоке с з = 170 мкм. Для выполнения условия d<<з диаметр частиц должен быть хотя бы на порядок меньше колмогоровского масштаба. Тогда, чтобы оказывать на пульсации, и, соответственно, на поток, такое же воздействие, как и частицы с d = 150 мкм, частицы с d = 15 мкм должны иметь плотность c_p на 2 порядка выше, т.е. около $2 \cdot 10^5$ кг/м^3, что следует из равенства времени релаксации $ф_p = c_p d^2/(18м)$. Даже в этом случае эффекты двухстороннего сцепления должны различаться, потому что число Re_p для d = 15 мкм будет в 10 раз меньше, чем для d = 150 мкм. В соответствии с результатами Paris и Eaton, при загрузке в турбулентный поток частиц с меньшими числами Re_p турбулентность гасится слабее, чем при загрузке частиц с таким же временем релаксации (и числа Стокса), но с большими числами Re_p. Следовательно, условие d<<з, используемое в различных подходах моделирования дисперсных турбулентных течений с двухсторонним сцеплением, может приводить к результатам, не соответствующим реальным ситуациям.

Однако с позиции размеров частиц сложность численных исследований реальных потоков заключается не только и не столько в ограничении d<<з. Средний размер частиц запыленных промышленных выбросов может быть принят в пределах 20-40 мкм, что, в определенной степени, удовлетворяет указанному ограничению. Но в реальных запыленных потоках твердая фаза всегда полидисперсная, обычно с дисперсией у = 2-3,5. Поэтому необходимо учитывать присутствие широкого спектра размеров частиц от субмикронного диаметра до нескольких сот микрометров. Следовательно, даже при успешном развитии методов, подходящих для двухсторонне сцепленного моделирования потоков при условиях, где d~з, они подойдут только для потоков с характеристикой взвешенной части, близкой к монодисперсной. Принципиально возможно найти расчетным путем

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

параметры потоков с монофракционными загрузками, охватив весь диапазон частиц рассматриваемого вида пыли, и затем по правилу аддитивности или вариационными методами оценить долю вклада каждой фракции. Однако на этом пути имеют место, по крайней мере, 2 принципиальных затруднения, которые могут в очередной раз свести точность теоретических результатов к удачному подбору эмпирических параметров. Во-первых, это проблема выбора интервала каждой монофракции, и, сообразно с этим, числа монофракций в рассматриваемом диапазоне размеров частиц. Во-вторых, основная часть дисперсной фазы перемещается в потоке не разделенной по размерам, и для оценки долей вкладов фракций линейные методы не подходят, что требует введения новых упрощений и эмпирической информации.

Многими исследователями отмечается, что никакие из существующих на настоящее время схем и подходов моделирования не могут обеспечить сопоставимой с экспериментом точности определения модификации турбулентности двухфазных потоков при изменении характеристик их дисперсной фазы. Анализ исследовательских работ показывает, что взаимодействие между частицами и турбулентностью неоднозначно, и понимание процесса модификации турбулентности весьма ограничено. Поэтому возникает необходимость нахождения универсальных характеристик сепарации частиц в аппаратах с вращательным движением потока, с целью их конструктивной и эксплуатационной оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fully resolved simulations of particle-turbulence interaction. T.M. Burton, and J.K. Eaton. Report No. TSD-151, Stanford University, Stanford, USA, 2003. – 187 p.
2. Hu H.H., Patankar N.A., Zhu M.Y. Direct numerical simulation of uid-solid systems using the arbitrary Lagrangian-Eulerian technique. J. Comput. Phys. (2001), 169 (2). – PP. 427-462.
3. Johnson A., Tezduyar T. Methods for 3D computation of fluid-object interactions in spatially periodic flows. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. (2001), 190. – PP. 3201-3221.
4. Johnson A.A., Tezduyar T.E. Simulation of multiple spheres falling in a liquid-filled tube. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. (1996), 134. – PP. 351-373.
5. Johnson A.A., Tezduyar T.E. 3D simulation of fluid-particle interactions with the number of particles reaching 100. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. (1997), 145. – PP. 301-321.
6. Johnson A.A., Tezduyar T.E. Advanced mesh generation and update methods for 3D flow simulations. Comput. Mech. (1999), 23. – PP. 130-143.
7. Nirschl H., Dwyer H.A., Denk V. (1995). Three-dimensional calculations of the simple shear flow around a single particle between two moving walls. J. Fluid Mech. (1995), 283. – PP. 273-285.
8. Dwyer H.A., DeBus K., Shahcheraghi N. The use of overset meshes in particle and porous media three-dimensional flows. Int. J. Numer. Methods Fluids (1999)31 (1). – PP. 393-406.
9. Shahcheraghi N., Dwyer H.A. Moving and rotating sphere in the thermal entrance region of a heated pipe. ASME J. Heat Transfer (2000), 122. – PP. 336-344.
10. Glowinski R., Pan T.W., Hesla T.I., Joseph D.D., Periaux J. A fictitious domain approach to the direct numerical simulation of incompressible viscous flow past moving rigid bodies: application to particulate flow. J. Comput. Phys. (2001), 169 (2). – PP. 363-426.
11. Patankar N.A., Singh P., Joseph D.D., Glowinski R., Pan T.-W. A new formulation of the distributed Lagrange multiplier/fictitious domain method for particulate flows. Int. J. Multiphase Flow (2000), 26 (9). – PP. 1509-1524.
12. Hill R.J., Koch D.L. Moderate-Reynolds-number flow in a wall-bounded porous medium. J. Fluid Mech. (2002), 453. – PP. 315-344.
13. Nourgaliev R.R., Dinh T.N., Theofanous T.G., Joseph D. The lattice Boltzmann equation method: theoretical interpretation, numerics and implications. Int. J. Multiphase Flow (2003), 29 (1). – PP. 117-169.
14. Maxey M.R., Riley J.J. Equation of a small rigid sphere in a nonuniform flow. Phys. Fluids (1983), 26 (4). – PP. 883-889.
15. Bagchi P., Balachandar S. (2003). Inertial and viscous forces on a rigid sphere in straining flows at moderate Reynolds numbers. J. Fluid Mech. 481. – PP. 105-148
16. Maxey M.R. The equation of motion for a small rigid sphere in a nonuniform flow or unsteady flow. Gas-Solid Flows. ASME/FED, (1993), V. 166. – P. 57-62.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

17. Kim I., Elghobashi S., Sirignano W.A. On the equation for spherical-particle motion: effect of Reynolds and acceleration numbers. J. Fluid Mech. (1998), 367. – PP. 221-253.
18. Mei R., Adrian R.J. Flow past a sphere with an oscillation in the free-stream velocity and unsteady drag at finite Reynolds number. J. Fluid Mech. (1992), 237. – PP. 323-341.
19. Auton T.R., Hunt J.C.R., Prud'homme M. The force exerted on a body in viscid unsteady non-uniform rotational flow. J. Fluid Mech. (1988), 197. – PP. 241-257.
20. Chang E.J., Maxey M.R. Unsteady flow about a sphere at low to moderate Reynolds number. Part 2. Accelerated motion. J. Fluid Mech. (1995), 303. – PP. 133-153.
21. Magnaudet J., Rivero M., Fabre J. Accelerated flows past a rigid sphere or a spherical bubble. Part 1. Steady straining flow. J. Fluid Mech. (1995), 284. – PP. 97-135.
22. Boivin M., Simonin O., Squires K.D. (1998). Direct numerical simulation of turbulence modulation by particles in isotropic turbulence. J. Fluid Mech. (1998), 375. – PP. 235-263.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 532.5:621.694
А.Я. Золотоносов – аспирант
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
E-mail: zolotonosov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕПЛООБМЕН В АППАРАТЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ» С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ «КОНФУЗОР-ДИФФУЗОР» И ОРЕБРЕННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТЬЮ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена разработке математической модели сопряженного теплообмена в аппарате типа «труба в трубе» с вращающейся теплообменной поверхностью «конфузор-дифузор» и оребренной проточной частью. Это позволит уточнить методику инженерного расчета теплообменников с вращающейся теплообменной поверхностью типа «конфузор-диффузор», а также по-новому подойти к определению конструктивных и технологических характеристик современных гравитационных аппаратов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидродинамика, сопряженный теплообмен, поле температур.

A.Ya. Zolotonosov – post-graduate student
Ya.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

HEAT EXCHANGE IN THE TYPE DEVICE «THE PIPE IN THE PIPE» WITH ROTATING HEAT-EXCHANGE THE SURFACE «KONFUZOR-DIFFUSOR» AND RIBBED THE FLOWING PART

ABSTRACT

Work is devoted development of mathematical model of conjugate heat change in the type vehicle «a tube in a tube» with gyrated heat exchange surface "confuser-diffuzor" and ribbed the setting. It will heat, to update the method of application of engineering account of heat exchangers with gyrated heat exchange surface of type "confuser-diffuzor", and also in a new fashion to approach to definition constructional and operational characteristics on modern gravitational vehicles.

KEYWORDS: hydrodynamics, interfaced heat exchange, a field of temperatures.

Введение

Среди известных рекуперативных теплообменников особое место занимают теплообменные аппараты типа «труба в трубе» с вращающейся криволинейной поверхностью, выполненной в виде трубы из последовательно чередующихся каналов типа «конфузор-диффузор» [1]. Проточная часть таких труб выполнена оребренной [2] или неоребренной [1], а в поперечном сечении – круглой, эллиптической или овальной форм [1].

Конфигурация теплообменной поверхности для таких труб задается в процессе накатки или холодного обжатия круглых элементов трубы в разъемных штампах на гидравлическом прессе, или, в случае пружинно-витых каналов, определяется самой технологией намотки [3]. Конструктивно конфузорно-диффузорная труба в теплообменном аппарате устанавливается коаксиально и в одном из вариантов вращается относительно неподвижной внешней трубы, в другом исполнении вращается совместно с внешней трубой от общего электродвигателя или, в более общем случае, от автономных электродвигателей соответственно для внешней и внутренней труб [1]. Среди всего многообразия рассматриваемых ротационных аппаратов наибольший научный и практический интерес представляют теплообменники с вращающейся теплообменной поверхностью, выполненные с внутренней оребренной проточной частью.

Оребрение в таких каналах вызвано требованиями интенсификации процесса теплообмена, поскольку с водной стороны среднее значение $\bar{a}_в$ =1300 Вт/м^{2}К, а со стороны пара, вследствие срыва конденсатной пленки с поверхности вращающегося канала и перехода с пленочного режима

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

конденсации в «пленочно-капельный», $\bar{a}_n$ =21000Вт/м^{2}К [4].

Внедрение таких теплообменников в промышленность сдерживается отсутствием теоретических и прикладных исследований в области гидродинамики и теплообмена в проточной части аппаратов с оребренной вращающейся теплообменной поверхностью «конфузор-дифузор» и надежных методов их инженерного расчета.

1. Математическая модель сопряженного теплообмена

Рассмотрим математическую модель стационарного ламинарного течения вязкой жидкости во вращающемся криволинейном конфузорно-диффузорном канале.

Рассматривается случай, когда перерабатываемая жидкость поступает во вращающуюся трубу длиной $L_{тр}$ ($L_{тр} \to \infty$) из емкости большого размера. Сечение канала изменяется по длине канала в соответствии с некоторым законом, описываемым функцией $R(z) = -\sqrt{R_*^2 - (z-a)^2} + b$, где (a, b) – координаты центра окружности, по которой построен профиль твердой стенки канала, R_* – радиус окружности. Канал снабжен ребрами (см. рис.).

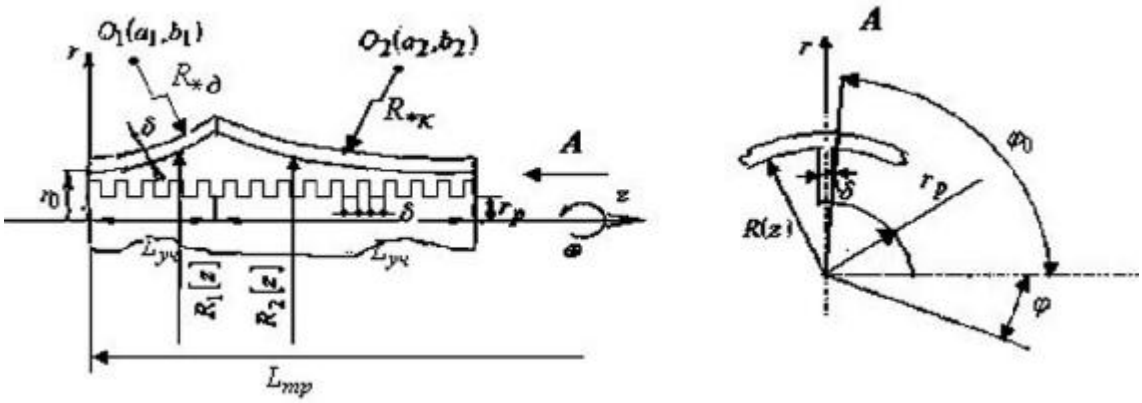


Рис. Конфузорно-диффузорный элемент

Учитывая геометрию объекта, течение вязкой жидкости во вращающейся волнистой трубе рассматриваем в цилиндрической системе координат (r, j, z), где нулевое значение радиальной координаты r совпадает с осью трубы, координаты z – с входным сечением, а угловой координаты j – с вертикальным сечением трубы.

Тогда уравнения движения, неразрывности, энергии и теплопроводности стенок канала и ребра с учетом центробежной силы запишутся в виде [5]:

$$V(\text{grad } V) = \nu(\text{div grad } V) - \frac{1}{r}\text{grad } p + wr^2;$$

$$\text{div } V = 0;\ V(\nabla T) = a(\text{div grad } T);\ \text{div grad} T = 0;\ \text{div grad} T = \frac{2\bar{a}}{l d_p}(T_p - T_{ж}) \qquad (1)$$

В качестве условий однозначности для системы (1) задаются начальные распределения скорости, давления, температуры на входе в канал и граничные условия на стенках канала и ребра:

$z = 0$:

$$r=0:\quad V_r = V_j = 0;\ V_z = u_0;\ P = P_0;\ \frac{\partial V_r}{\partial z} = \frac{\partial V_j}{\partial z} = \frac{\partial V_z}{\partial z} = \frac{\partial T_{ж}}{\partial z} = 0;\ T_{ж} = T_0;\ T_p = T_{ср};$$

$$r = r_p:\quad V_j = wr_p;\ V_r = V_z = 0;\ T_p = T_{ж};\ l_p \frac{\partial T_p}{\partial r} = l_{ж} \frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$j=j_0:\quad V_r=V_z=0;\ V_j=wr;\ T_p=T_{ж};\ l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l\frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

$$r=R(z):\quad V_r=V_z=0;\ V_j=wR(z);T_{ж}=T_p=T_c;\ l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r}=l_c\frac{\partial T_c}{\partial r}(0,j,R(z));$$

$$r=R(z)+d:\quad l_c\frac{\partial T_c}{\partial r}=a_n\left(T_n-T_c\right)$$

(2)

$$z=L_{уч}:$$

$$r=0:\qquad V_r=V_j=0;\ \frac{\partial V_r}{\partial z}=\frac{\partial V_j}{\partial z}=\frac{\partial T_{ж}}{\partial z}=\frac{\partial p}{\partial r};$$

$$r=r_p:\quad V_j=wr_p;V_r=V_z=0;\quad T_p=T_{ж};\quad l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

$$j=j_0:\quad V_r=V_z=0;\ V_j=wr;\ T_p=T_{ж};\ l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

$$r=R(z):\quad V_r=V_z=0;\ V_f=wR(z);\ T_{ж}=T_p=T_c;\ l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r}=l_c\frac{\partial T_c}{\partial r};$$

$$r=R(z)+d:\ l_c\frac{\partial T_c}{\partial r}=a_n\left(T_n-T_c\right).$$

$$z=L_{mp}\left(L_{mp}\to\infty\right):$$

$$r=0:\qquad V_r=V_j=0;\ V_z=2u_{cp};\frac{\partial V_r}{\partial z}=\frac{\partial V_j}{\partial z}=\frac{\partial V_z}{\partial z}=\frac{\partial p}{\partial r}=\frac{\partial T_{ж}}{\partial r}=0;$$

$$r=r_p:\quad V_j=wr_p;V_r=V_z=0;\ T_p=T_{ж};\ l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

$$j=j_0:\quad V_r=V_z=0;\ V_j=wr;\ T_p=T_{ж};\ l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r};$$

$$r=R(z):\quad V_r=V_z=0;\ V_j=wR(z);T_{ж}=T_c;\ T_p=T_c;\ l_{ж}\frac{\partial T_{ж}}{\partial r}=l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}=l_c\frac{\partial T_c}{\partial r};$$

$$r=R(z)+d:\ l_c\frac{\partial T_c}{\partial r}=a_n\left(T_n-T_c\right)$$

Используя преобразования координат, отобразим физическую область течения с криволинейными границами. Для этого произведем замену переменных:

$$\bar{r}=\frac{r}{R(z)};\ \bar{n}=\frac{r-R(z)}{R(z)};\ \bar{z}=\frac{z}{L_{уч}}.$$

Введем в уравнения такие безразмерные переменные и параметры:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\bar{a} = \frac{a}{R_*};\ \bar{b} = \frac{b}{R_*};\ z_* = \frac{z}{R_*};\ \bar{R} = \frac{R(z)}{L_{уч}};$$

$$\bar{z} = \frac{z}{L_{тр}};\ \bar{u} = \frac{u_0}{u_{ср}};\ \bar{j} = r_p \cdot j_0;\ \bar{l} = \frac{l_c}{l_{ж}};$$

$$\bar{l} = \frac{l_{ж}}{l_p};\ \bar{L} = \frac{L_{уч}}{L_{тр}};\ \bar{r} = \frac{r_p}{R(z)};\ \bar{R} = \frac{d_э}{R(z)};\ \bar{H} = \frac{d}{R(z)},$$

где $L_{уч}$ – длина участка трубы (конфузор $l_к$ или диффузор $l_д$); d – толщина стенки канала; $d_э$ – эквивалентный диаметр элементов канала, вычисляемый по известным уравнениям [6].

Решение систем будем искать в виде:

$$V_r = u_0 f(\bar{z},j,\bar{r});\ V_j = w\bar{r}r_0 G(\bar{z},j,\bar{r});$$

$$V_z = u_0 H(\bar{z},j,\bar{r});\ p - p_0 = r u_0^2 P(\bar{z},j,\bar{r});$$

$$T_{ж}(\bar{z},j,\bar{r}) = T_0 t_{ж}(\bar{z},j,\bar{r});\ T_n(\bar{z},j,\bar{r}) = T_0 t_n(\bar{z},j,\bar{r});$$

$$T_c(\bar{z},j,\bar{r}) = T_0 t_c(\bar{z},j,\bar{r});\ T_p(\bar{z},j,\bar{r}) = T_c t_p(\bar{z},j,\bar{r});$$

$$T_{ср}(\bar{z},j_0,\bar{r}) = T_c t^*(\bar{z},j_0,\bar{r});\ T_p(\bar{z},j_0,\bar{r}) = T_{ж}\bar{t}(\bar{z},j_0,\bar{r});$$

$$T_{ж}(\bar{z},j_0,\bar{r}) = T_c \bar{t}(\bar{z},j_0,\bar{r}).$$

Тогда краевая задача нахождения температуры в стенке канала для области $\Omega_1 = \{(\bar{z},j,\bar{r})/0 \le \bar{z} \le 1,\ 0 \le j \le j_0,\ 0 \le \bar{r} \le \bar{H}\}$ и безразмерных компонент скоростей, поля температур в жидкости для области $\Omega_2 = \{(\bar{z},j,\bar{r})/0 \le \bar{z} \le 1,\ 0 \le j \le j_0,\ 1 \le \bar{r} \le 1\}$ примет вид:

$$f\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} + \frac{NG}{\bar{R}}\frac{\partial f}{\partial j} - H\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial f}{\partial \bar{z}}\right) = -\frac{\partial P}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{R}}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} + \bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 f}{\partial j^2} + \left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{r}^2} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}} + \bar{R}^2\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{z}^2} - \frac{2N}{\bar{r}}\frac{\partial G}{\partial j} - \frac{f}{\bar{r}^2}\right\} + \frac{N^2\bar{r}G^2}{\bar{R}^2};$$

$$\left(f\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} + \frac{NG}{\bar{R}}\frac{\partial G}{\partial j} - H\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}\right)\bar{r} + 2fG\right)\bar{r} = -\frac{1}{N}\frac{\partial P}{\partial j} + \frac{\bar{R}\bar{r}^2}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{r}^2} + \frac{3}{\bar{r}}\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 G}{\partial j^2} + \right.$$

$$\left. + \bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} + \left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{r}^2} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}} + \bar{R}^2\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{z}^2} + \frac{2}{\bar{r}^3 N}\frac{\partial G}{\partial j}\right\};$$

$$f\frac{\partial H}{\partial \bar{r}} + \frac{NG}{\bar{R}}\frac{\partial H}{\partial j} - H\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}\right) = \frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial P}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial P}{\partial \bar{z}} + \frac{\bar{R}}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial H}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 H}{\partial j^2} + \right.$$

$$\left. + \bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial H}{\partial \bar{r}} + \left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{r}^2} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}} + \bar{R}^2\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{z}^2}\right\};$$

(3)

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} - \left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}\right) + \frac{N}{\bar{R}}\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar{r}} = 0;$$

(4)

$$f\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}} + \frac{NG}{\bar{R}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial j} - H\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}} - \bar{R}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{z}}\right) = \frac{\bar{R}}{\mathrm{Pe}}\left\{\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial j^2} + \right.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(5)

$$+\bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}+\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{r}^2}-\frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\bar{R}^2\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{z}^2}\Bigg\};$$

$$\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}+\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 T_p}{\partial j^2}+\bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}-\frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+$$

$$+\bar{R}^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{z}^2}=\frac{2\bar{a}}{l d_p}\left(t_p-t_{ж}\right);$$

(6)

$$\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{n}^2}+\frac{1}{\bar{n}}\frac{\partial t_c}{\partial \bar{n}}+\frac{1}{\bar{n}^2}\frac{\partial^2 t_c}{\partial j^2}+(\bar{n}+1)\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_c}{\partial \bar{n}}+\left(\frac{(\bar{n}+1)(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{n}^2}- \tag{7}$$

$$-\frac{2(\bar{n}+1)\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{n}\partial \bar{z}}+\bar{R}^2\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{z}^2}=0$$

с граничными условиями

$$\bar{z}=0:\quad \frac{\partial f}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{z}}=0;$$

$$\bar{r}=0:\quad f=0;\ G=0;\ H=1;\ P=0;\ t_{ж}=1;\ t_p=t^*;$$

$$r=\bar{r}:\quad G=1;\ f=0;\ H=0;\ t_p=t^*;\ \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}=\tilde{l}_{ж}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}};$$

$$f=f_0:\quad f=H=0;\ G=1;\ t_p=t_{ж};\ \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}=\bar{l}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}};$$

$$\bar{r}=1,\ \bar{n}=0:\quad f=H=0;\ G=1;\ t_{ж}=t_c;\ t_p=1;\ \frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}=\bar{l}_c\frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}};$$

$$\bar{n}=\bar{H}:\quad \frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}}=Bi\left(t_n-t_c\right);$$

(8)

$$\bar{z}=\bar{L}:$$

$$r=0:\quad f=0;\ G=0;\ \frac{\partial f}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial P}{\partial \bar{r}}=\frac{\partial t_{ж}}{\partial r}=0;$$

$$r=\bar{r}:\quad G=1;\ f=0;\ H=0;\ t_p=t^*;\ \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}=\bar{l}_{ж}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}};$$

$$f=f_0:\quad f=H=0;\ G=1;\ t_p=t^*;\ \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}=\bar{l}_{ж}\frac{\partial t_{ж}}{\partial r};$$

$$\bar{r}=1,\ \bar{n}=0:\quad f=H=0;\ G=1;\ t_{ж}=t_c;\ t_p=1;\ \frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}=\bar{l}_c\frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}};\ \bar{n}=1:\quad \frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}}\left(\bar{L},f,1\right)=Bi\left(t_n-t_c\right);$$

$$\tilde{z}=1:$$

$$\bar{r}=0:\quad f=0;\ G=0;\ H=2\bar{u};\ \frac{\partial f}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}=\frac{\partial P}{\partial \bar{r}}=\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}=0;$$

$$r=\bar{r}:\quad G=1;\ f=0;\ H=0;\ t_p=t^*;\ \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}=\tilde{l}_{ж}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}};$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$f = f_0: \quad f = H = 0; \quad G = 1; \quad t_p = t_{ж}; \quad \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}} = \lambda_{ж} \frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}};$$

$$\bar{r} = 1, \ \lambda = 0: \quad f = H = 0; \quad G = 1;$$

$$t_{ж} = t^*; \ t_p = 1;$$

$$\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}} = \lambda_p \frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}} = \lambda_c \frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}};$$

$$\lambda = \bar{H}: \quad \frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}} = Bi\left(t_n - t_c\right).$$

Система уравнений (3)-(7) с граничными условиями (8) составляет полную математическую модель сопряженной задачи теплообмена в оребренном канале, выполненном из конфузорно-диффузорных элементов и вращающемся с постоянной скоростью.

2. Алгоритм решения сопряженной задачи теплообмена в оребренном криволинейном канале типа «конфузор-диффузор»

При решении уравнений движения (3) для исключения безразмерного параметра давления P из числа неизвестных используем метод штрафа [7]. Для этого нулевую правую часть уравнения неразрывности (4) заменим произведением давления на малый штрафной параметр ε (ε→0, $Div\vec{V} \to 0$) [8]:

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} - \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial H}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial H}{\partial \bar{z}} \right) + \frac{N}{\tilde{R}} \frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar{r}} = -Pe \ .$$

Тогда выражение для давления будет иметь вид

$$P = -\frac{1}{e} \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} - \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial H}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial H}{\partial \bar{z}} \right) + \frac{N}{\tilde{R}} \frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar{r}} \right). \tag{9}$$

Для решения задачи применим метод конечных элементов на основе метода Галеркина. Согласно основной идее метода решение системы (3)-(7) будем искать в виде линейной комбинации базисных функций:

$$\begin{gathered} f^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}) = \sum_{i=1}^{8} u_i^{(e)} \Phi_i^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}); \ G^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}) = \sum_{i=1}^{8} J_i^{(e)} \Phi_i^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}); \\ H^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}) = \sum_{i=1}^{8} w_i^{(e)} \Phi_i^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}); \ t_{ж}^{(e)}(\bar{r}, j, \bar{z}) = \sum_{i=1}^{8} t_{жi}^{(e)} \Phi_i^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}); \\ t_p^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}) = \sum_{i=1}^{8} t_{p_i}^{(e)} \Phi_i^{(e)}(\bar{z}, j, \bar{r}) \end{gathered} \tag{10}$$

или в матричной форме:

$$f^{(e)} = [\Phi]\{u\}; \ G^{(e)} = [\Phi]\{J\}; H^{(e)} = [\Phi]\{w\};$$

$$t_{ж}^{(e)} = [\Phi]\{t_{ж}\}; \ t_p^{(e)} = [\Phi]\{t_л\}$$

Здесь $[\Phi] = \left[\Phi_1^e(\bar{z}, j, \bar{r}), \Phi_2^e(\bar{z}, j, \bar{r}), \ldots, \Phi_8^e(\bar{z}, j, \bar{r})\right]$ – вектор-строка базисных функций, $\{u\}, \{\vartheta\}, \{w\}, \{t_{ж}\}, \{t_л\}, \{t_c\}$ – вектор-столбец неизвестных узловых значений функций:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\{u\}=\begin{Bmatrix} u_1^{(e)} \\ u_2^{(e)} \\ \vdots \\ u_8^{(e)} \end{Bmatrix},\{J\}=\begin{Bmatrix} J_1^{(e)} \\ J_2^{(e)} \\ \vdots \\ J_8^{(e)} \end{Bmatrix},\{w\}=\begin{Bmatrix} w_1^{(e)} \\ w_2^{(e)} \\ \vdots \\ w_8^{(e)} \end{Bmatrix},\{t_{ж}\}=\begin{Bmatrix} t_{ж1}^{(e)} \\ t_{ж2}^{(e)} \\ \vdots \\ t_{ж8}^{(e)} \end{Bmatrix},\{t_c\}=\begin{Bmatrix} t_{c1}^{(e)} \\ t_{c2}^{(e)} \\ \vdots \\ t_{c8}^{(e)} \end{Bmatrix}.$$

Нижние индексы означают локальную нумерацию узлов, верхний индекс ***e*** – номер элемента. Интегрируя уравнения (3)-(7) по объему конечного элемента, получим:

уравнения движения

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial f}{\partial \bar r}+\frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial f}{\partial j}-H\left(\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial f}{\partial \bar r}-\bar R\frac{\partial f}{\partial \bar z}\right)\right)dV=\frac{1}{e}\int_V [\Phi]^T\left(\frac{\partial^2 f}{\partial \bar r^2}-\right.$$

$$\left.-\left(\frac{(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r}+\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar r^2}-\bar R\frac{\partial^2 H}{\partial \bar r\partial \bar z}\right)+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar r\partial j}-\frac{f}{\bar r^2}+\frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r}\right)dV+$$

(11)

$$+\frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V [\Phi]^T\left\{\frac{\partial^2 f}{\partial \bar r^2}+\frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial^2 f}{\partial j^2}+\bar r\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}\left((z_*-\bar a)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-(z_*-\bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial f}{\partial \bar r}+\right.$$

$$\left.+\left(\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\right)^2\frac{\partial^2 f}{\partial \bar r^2}-\frac{2\bar r\bar R(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial^2 f}{\partial \bar r\partial \bar z}+\bar R^2\frac{\partial^2 f}{\partial \bar z^2}-\frac{2N}{\bar r}\frac{\partial G}{\partial j}-\frac{f}{\bar r^2}\right\}dV++\frac{N^2}{\tilde R^2}\int_V [\Phi]^T\bar r G^2,$$

$$\int_V [\Phi]^T\left(f\frac{\partial G}{\partial \bar r}+\frac{NG\partial G}{\tilde R\,\partial j}-H\left(\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial G}{\partial \bar r}-\bar R\frac{\partial G}{\partial \bar z}\right)+2fG\right)\bar r dV=\frac{1}{Ne}\int_V [\Phi]^T\left(\frac{\partial^2 f}{\partial j\partial \bar r}-\left(\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial j\partial \bar r}-\bar R\frac{\partial^2 H}{\partial j\partial \bar z}\right)+\frac{N\partial^2 G}{\tilde R\partial j^2}+\frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial j}\right)dV+$$

$$+\frac{\tilde R\bar r^2}{\mathrm{Re}}\int_V [\Phi]^T\left\{\frac{\partial^2 G}{\partial \bar r^2}+\frac{3}{\bar r}\frac{\partial G}{\partial \bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial^2 G}{\partial j^2}+\bar r\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}\left((z_*-\bar a)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-(z_*-\bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial G}{\partial \bar r}+\right. \tag{12}$$

$$\left.+\left(\frac{\bar r(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\right)^2\frac{\partial^2 G}{\partial \bar r^2}-\frac{2\bar r\bar R(z_*-\bar a)}{\sqrt{1-(z_*-\bar a)^2}}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar r\partial \bar z}+\bar R^2\frac{\partial^2 G}{\partial \bar z^2}+\frac{2}{\bar r^3 N}\frac{\partial G}{\partial j}\right\}dV,$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial H}{\partial j} - H\left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial H}{\partial \bar z} \right) \right) dV = \frac{1}{e}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial \bar r^2} - \left(\frac{(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar r^2} - \bar R\frac{\partial^2 H}{\partial \bar r \partial \bar z} \right) - \right.\right.$$

$$\left. + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar r \partial j} - \frac{f}{\bar r^2} + \frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} \right) - \bar R \left(\frac{\partial^2 f}{\partial \bar z \partial \bar r} - \left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar z \partial \bar r} - \bar R\frac{\partial^2 H}{\partial \bar z^2} \right) + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar z \partial j} + \frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar z} \right) \Bigg) dV + \frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V [\Phi]^T \left\{ \frac{\partial^2 H}{\partial \bar r^2} + \frac{1}{\bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial^2 H}{\partial j^2} + \bar r\frac{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}\left((z_* - \bar a)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-(z_* - \bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}} \right)^2 \frac{\partial^2 H}{\partial \bar r^2} - \frac{2\bar r \bar R(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar r \partial \bar z} + \bar R^2\frac{\partial^2 H}{\partial \bar z^2} \right\} dV,$$

(13)

уравнение энергии

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r} + \frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial t_{ж}}{\partial j} - H\left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar z} \right) \right) dV = \frac{\tilde R}{Pe}\int_V [\Phi]^T \left\{ \frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar r^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\bar r}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r} + \frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial j^2} + \bar r\frac{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}\left((z_* - \bar a)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-(z_* - \bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r} + \left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}} \right)^2 \frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar r^2} - \frac{2\bar r \bar R(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar r \partial \bar z} + \bar R^2\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar z^2} \right\} dV, \tag{14}$$

уравнение теплопроводности стенок канала

$$\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\partial^2 t_c}{\partial \tilde r^2} + \frac{1}{(\tilde r + 1)}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r} + \frac{1}{(\tilde r + 1)^2}\frac{\partial^2 t_c}{\partial j^2} + (\tilde r + 1)\frac{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}\left((z_* - \bar a)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-(z_* - \bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{(\tilde r + 1)(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}} \right)^2 \frac{\partial^2 t_c}{\partial \tilde r^2} - \frac{2(\tilde r + 1)\bar R(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 t_c}{\partial \tilde r \partial \bar z} + \bar R^2\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar z^2} \right) dV = 0,$$

(15)

Уравнение теплопроводности ребра

$$\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar r^2} + \frac{1}{\bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r} + \frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial t_p}{\partial f} + \bar r\frac{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}\left((z_* - \bar a)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-(z_* - \bar a)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\bar r(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}} \right)^2 \frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar r^2} - \frac{2\bar r \bar R(z_* - \bar a)}{\sqrt{1-(z_* - \bar a)^2}}\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar r \partial \bar z} + \bar R^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar z^2} \right) dV = \frac{2\bar a}{ld}\int_V [\Phi]^T \left(t_p - t_{ж} \right) dV. \tag{16}$$

Так как в качестве базисных функций выбраны функции нулевого порядка непрерывности, то уравнения (11-16) должны содержать производные порядка не выше первого. В целях понижения порядка производных, учитывая граничные условия (8) и с учетом интеграла (17) [8, 9],

$$\int_V [\Phi]^T \frac{\partial^2 c}{\partial \bar r^2} dV = \int_S [\Phi]^T \frac{\partial c}{\partial \bar r} l_{\bar r} dS - \int_V \frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial c}{\partial \bar r} dV \ , \tag{17}$$

уравнения (11)-(16) преобразуются к виду:

уравнения движения

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial f}{\partial \bar r} + \frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial f}{\partial j} - H\left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial f}{\partial \bar z}\right)\right) dV + \frac{1}{e}\int_V \left(\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \right.$$

$$\left. + \bar R\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar z} + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial G}{\partial j}\right) dV + \frac{1}{e}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{f}{\bar r^2} - \frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r}\right) dV +$$

$$+ \frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V \left\{ \frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} + \frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial f}{\partial j} + \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\right)^2 \frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \frac{2\bar r\bar R\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar z} + \right.$$

$$\left. + \bar R^2\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial f}{\partial \bar z}\right\} dV - \frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} + \bar r\frac{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}\left(\left(z_* - \bar a\right)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-\left(z_* - \bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial f}{\partial \bar r} + \frac{2N}{\bar r}\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar r^2}\right) dV +$$

(18)

$$+ \frac{1}{2}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right) + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar r}\right) f dV - \frac{N^2}{\tilde R^2}\int_V [\Phi]^T \bar r G^2 dV = 0,$$

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial G}{\partial \bar r} + \frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial G}{\partial j} - H\left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial G}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial G}{\partial \bar z}\right) \bar r + 2fG\right) \bar r dV - \frac{1}{Ne}\int_V \frac{[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial j} dV +$$

$$+ \frac{1}{Ne}\int_V \left(\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right) + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial G}{\partial j}\right) dV +$$

$$+ \frac{\tilde R\bar r^2}{\mathrm{Re}}\int_V \left\{ \frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial G}{\partial \bar r} + \frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial G}{\partial j} + \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\right)^2 \frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial G}{\partial \bar r} - \frac{2\bar r\bar R\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial G}{\partial \bar z} + \right.$$

$$\left. + \bar R^2\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial G}{\partial \bar z}\right\} dV - \frac{\tilde R\bar r^2}{\mathrm{Re}}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{3}{\bar r}\frac{\partial G}{\partial \bar r} + \bar r\frac{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}\left(\left(z_* - \bar a\right)^2 + 1\right) - \bar b}{\left(1-\left(z_* - \bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial G}{\partial \bar r} + \frac{2}{\bar r^3 N}\frac{\partial G}{\partial j}\right) dV +$$

$$+ \frac{1}{2}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right) + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{f}{\bar r}\right) G dV = 0,$$

(19)

$$\int_V [\Phi]^T \left(f\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial H}{\partial j} - H\left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right)\right) dV + \frac{1}{e}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\left(z_* - \bar a\right)[\Phi]^T}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r} + \frac{f}{\bar r^2} - \frac{1}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r}\right) dV +$$

$$+ \frac{1}{e}\int_V \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\left(\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial G}{\partial j}\right) - \bar R\left(\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial f}{\partial \bar r} - \left(\frac{\bar r\left(z_* - \bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar a\right)^2}}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial H}{\partial \bar r} - \bar R\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right) + \frac{N}{\tilde R}\frac{\partial [\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial G}{\partial j}\right)\right) dV -$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$-\frac{1}{e}\int_V \frac{[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial f}{\partial \bar z}dV+\frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V\left\{\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial H}{\partial j}+\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r}+\frac{2\bar r\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar z}+\right.$$

$$\left.+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right\}dV-\frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V[\Phi]^T\left(\frac{1}{\bar r}\frac{\partial H}{\partial \bar r}+\bar r\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r}\right)dV+$$

$$+\frac{1}{2}\int_V[\Phi]^T\left(\frac{\partial f}{\partial \bar r}-\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial H}{\partial \bar r}-\bar R\frac{\partial H}{\partial \bar z}\right)+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial G}{\partial j}+\frac{f}{\bar r}\right)HdV=0,$$

(20)

уравнение энергии

$$\int_V[\Phi]^T\left(f\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}+\frac{NG}{\tilde R}\frac{\partial t_{ж}}{\partial j}-H\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}-\bar R\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar z}\right)\right)dV+\frac{\tilde R}{Pe}\int_V\left\{\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}-\right.$$

$$\left.\left.+\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial t_{ж}}{\partial j}-\frac{2\bar r\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar z}+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar z}\right\}\right)dV-$$

$$-\frac{\tilde R}{Pe}\int_V[\Phi]^T\left(\frac{1}{\bar r}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}+\bar r\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar r}\right)dV=0, \qquad (21)$$

уравнение теплопроводности стенок канала

$$\int_V\left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde r}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r}-\frac{[\Phi]^T}{\tilde r}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r}+\frac{1}{\tilde r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial t_c}{\partial j}-[\Phi]^T(\tilde r+1)\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r}+\right.$$

$$\left.+\left(\frac{(\tilde r+1)\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde r}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde r}-\frac{2(\tilde r+1)\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde r}\frac{\partial t_c}{\partial \bar z}+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar z}\frac{\partial t_c}{\partial \bar z}\right)dV=0, \qquad (22)$$

Уравнение теплопроводности ребра

$$\int_V\left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial t_p}{\partial j}+\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r}-\frac{2\bar r\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar z}+\right.$$

$$\left.+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r}\right)dV-\int_V[\Phi]^T\left(\frac{1}{\bar r}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r}+\bar r\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar r}\right)dV+\frac{2\bar a}{l\,d}\int_V[\Phi]^T\left(t_p-t_{ж}\right)dV=0.$$

(23)

Заменим искомые функции в уравнениях (18)-(23) их пробными аппроксимациями, и, вычислив интегралы по области элементов с помощью квадратурной формулы Гаусса, получим систему алгебраических уравнений относительно неизвестных значений функций в узлах элемента:

уравнения движения

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\int_V [\Phi]^T [\Phi]\left(\{u\}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\frac{N\{J\}}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}-\{w\}\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\right)\{u\}dV+\frac{1}{e}\int_V\left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\right.$$

$$+[\Phi]^T\left(\frac{\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\{w\}+$$

$$\left.+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{J\}-\frac{[\Phi]}{\bar r^2}\{u\}+\frac{1}{\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}\{u\}\right)dV+$$

$$+\frac{\tilde R}{\mathrm{Re}}\int_V\left\{\left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\frac{[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}-\bar r[\Phi]^T\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\right.\right.$$

$$+2[\Phi]^T\bar r\left(\frac{\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\frac{2[\Phi]^T\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}+\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-$$

$$\left.\left.-\frac{2\bar r\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar z}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\{u\}+\frac{2N[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{J\}+\frac{[\Phi]^T[\Phi]}{\bar r^2}\{u\}\right\}dV+ \qquad (24)$$

$$+\frac{1}{2}\int_V[\Phi]^T[\Phi]\left(\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}\{u\}-\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\{w\}+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{J\}+\frac{[\Phi]\{u\}}{\bar r}\right)\{u\}dV=$$

$$=\frac{N^2}{\tilde R^2}\int_V[\Phi]^T[\Phi]\bar r[\Phi]\{J\}dV,$$

$$\int_V[\Phi]^T[\Phi]\left(\{u\}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\frac{N\{J\}}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}-\{w\}\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\bar r\{J\}+2\{u\}[\Phi]\{J\}\right)\bar r dV+$$

$$+\frac{1}{Ne}\int_V\left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}\{u\}-\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\{w\}+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{J\}-\frac{[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{u\}\right)dV+$$

$$+\frac{\tilde R\bar r^2}{\mathrm{Re}}\int_V\left\{\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\frac{3[\Phi]^T}{\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\frac{1}{\bar r^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}-\bar r[\Phi]^T\frac{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}\left(\left(z_*-\bar a\right)^2+1\right)-\bar b}{\left(1-\left(z_*-\bar a\right)^2\right)^{3/2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}+\right.$$

$$+2[\Phi]^T\bar r\left(\frac{\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\frac{2[\Phi]^T\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}+$$

$$\left.+\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\right)^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\frac{2\bar r\bar R\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar r}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}+\bar R^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar z}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}-\frac{2[\Phi]^T}{\bar r^3N}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\right\}\{J\}dV+$$

$$+\frac{1}{2}\int_V[\Phi]^T[\Phi]\left(\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}\{u\}-\left(\frac{\bar r\left(z_*-\bar a\right)}{\sqrt{1-\left(z_*-\bar a\right)^2}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar r}-\bar R\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar z}\right)\{w\}+\frac{N}{\tilde R}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j}\{J\}+\frac{[\Phi]\{u\}}{\bar r}\right)\{J\}dV=0,$$

(25)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\int_V [\Phi]^T [\Phi] \left(\{u\} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \frac{N\{J\}}{\tilde{R}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} - \{w\} \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \right) \{w\} dV +$$

$$+\frac{1}{e} \int_V \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} \{u\} - \left(\frac{\left(z_* - \bar{a}\right)[\Phi]^T}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \{w\} - \right.$$

$$\left. - \frac{N}{\tilde{R}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} \{J\} - \frac{[\Phi]^T [\Phi]\{u\}}{\bar{r}^2} + \frac{[\Phi]^T}{\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} \{u\} \right) - \bar{R} \left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} \{u\} - \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \{w\} + \right.$$

$$\left. + \frac{N}{\tilde{R}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} \{J\} + \frac{[\Phi]^T}{\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \{u\} \right) \right) dV + \frac{\tilde{R}}{\mathrm{Re}} \int_V \left\{ \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \frac{[\Phi]^T}{\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} - \right.$$

(26)

$$-\bar{r}[\Phi]^T \frac{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2} \left(\left(z_* - \bar{a}\right)^2 + 1 \right) - \bar{b}}{\left(1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2\right)^{3/2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + 2[\Phi]^T \bar{r} \left(\frac{\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} -$$

$$\left. - \frac{2[\Phi]^T \bar{R}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} + \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial H}{\partial \bar{r}} - \frac{2\bar{r}\bar{R}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial H}{\partial \bar{z}} + \bar{R}^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial H}{\partial \bar{z}} \right\} dV +$$

$$+\frac{1}{2} \int_V [\Phi]^T [\Phi] \left(\frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} \{u\} - \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \{w\} + \frac{N}{\tilde{R}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} \{J\} + \frac{[\Phi]\{u\}}{\bar{r}} \right) \{w\} dV = 0,$$

уравнение энергии

$$\int_V [\Phi]^T [\Phi] \left(\{u\} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \frac{N\{J\}}{\tilde{R}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} - \{w\} \left(\frac{\bar{r}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \bar{R} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \right) \{t_{ж}\} dV + \frac{\tilde{R}}{Pe} \int_V \left\{ \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\bar{r}^2} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} + \left(\frac{\bar{r}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} + \bar{R}^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right\} \{t_{ж}\} dV -$$

$$- \int_V [\Phi]^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} + 2\bar{r} \left(\frac{\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} - \frac{2\bar{R}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} + \bar{r} \frac{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2} \left(\left(z_* - \bar{a}\right)^2 + 1 \right) - \bar{b}}{\left(1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2\right)^{3/2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{r}} \right) \{t_{ж}\} dV = 0,$$

(27)

уравнение теплопроводности стенок канала

$$\int_V \left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \tilde{r}} + \frac{1}{(\tilde{r}+1)^2} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} + \left(\frac{(\tilde{r}+1)\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \tilde{r}} - \frac{2(\tilde{r}+1)\bar{R}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \tilde{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} + \right.$$

$$\left. + \bar{R}^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial \bar{z}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} \right) \{t_c\} dV - \int_V [\Phi]^T \left(\frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \tilde{r}} + (\tilde{r}+1) \frac{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2} \left(\left(z_* - \bar{a}\right)^2 + 1 \right) - \bar{b}}{\left(1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2\right)^{3/2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \tilde{r}} + \right.$$

$$\left. + \frac{2\bar{R}\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial \bar{z}} - 2(\tilde{r}+1) \left(\frac{\left(z_* - \bar{a}\right)}{\sqrt{1-\left(z_* - \bar{a}\right)^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]}{\partial \tilde{r}} \right) \{t_c\} = 0,$$

(28)

Уравнение теплопроводности ребра

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\int_V \left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j} \frac{\partial[\Phi]}{\partial j} + \left(\frac{\bar{r}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{z}} + \right. \tag{29}$$

$$\left. + \bar{R}^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} \right) \left\{ t_p \right\} dV - \int_V [\Phi]^T \left(\frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} + 2\bar{r} \left(\frac{(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \right)^2 \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} - \frac{2\bar{R}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{z}} + \right.$$

$$\left. + \bar{r} \frac{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}\left((z_* - \bar{a})^2 + 1\right) - \bar{b}}{\left(1-(z_* - \bar{a})^2\right)^{3/2}} \frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} \right) \left\{ t_p \right\} dV + \frac{2\bar{a}}{l\,d} \int_V [\Phi]^T [\Phi] \left(\left\{ t_p \right\} - \left\{ t_{ж} \right\} \right) dV = 0.$$

Полученная система алгебраических уравнений является нелинейной. Для линеаризации этой системы предполагается использовать метод Ньютона, а для решения систем линейных уравнений, возникающих на каждом шаге метода Ньютона, – метод сопряженных градиентов. Предложенный алгоритм позволит определить параметры давления, компоненты скоростей и температур в стенках, ребре и проточной части каналов в зависимости от чисел закрутки, критериев Рейнольдса и Пекле.

Заключение

Разработана полная математическая модель задачи сопряженного теплообмена во вращающемся с постоянной скоростью оребренном криволинейном канале типа «конфузор-диффузор».

Численная реализация полученной математической модели позволит определить поле скоростей, давлений и температур в проточной части каналов конфузорно-диффузорного типа, оценить характер распространения тепла путем теплопроводности в ребрах и стенке, уточнить методику теплового расчета оребренных поверхностей в аппаратах типа «труба в трубе» с учетом трехмерной модели распространения тепла в ребре, построенной на уравнении Пуассона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотоносов А.Я. Конструкции теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью теплообмена «конфузор-диффузор» // Сборник научных трудов КазГАСУ. – Казань, 2009. – С. 19-23.
2. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Белавина Т.В. Математическая модель теплопроводности в длинном ребре переменной высоты с учетом изменения условий теплообмена // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 190-196.
3. Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Математическая модель конфигурации эллиптических пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 173-178.
4. Пантелеева Л.Р. Теплообмен при ламинарном течении вязкой жидкости в теплообменных устройствах типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор» // Дис. … канд. техн. наук. – Казань, 2005. – 116 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М: Наука, 1987. – 840 с.
6. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Сопряженная задача теплообмена при ламинарном течении вязкой жидкости во вращающемся осесимметричном криволинейном канале типа «конфузор-диффузор» // Сборник научных трудов КазГАСУ. – Казань, 2009. – С. 8-12.
7. Роже Пейре, Томас Д. Тейлор. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 352 с.
8. Белавина Т.В. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в роторе центробежного пароструйного подогревателя // Дис… канд. техн. наук. – Казань, 2009. – 141 с.
9. Багоутдинова А.Г. Модернизация узла подготовки горячей воды на базе вращающегося малоинерционного теплообменного аппарата в технологии приготовления суспензии стеарата кальция. – Казань, 2007. – 133 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 536.253
С.В. Романов – ассистент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
В.Н. Посохин – доктор технических наук, профессор
E-mail: amziganshin@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ НАД ЗАГЛУБЛЕННЫМ ПРОТЯЖЕННЫМ ТЕПЛОИСТОЧНИКОМ

АННОТАЦИЯ
Численным методом решается система уравнений турбулентного движения над заглубленным протяженным теплоисточником. Получены распределения осевых скорости, температуры, а также расхода по длине плоской конвективной струи.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конвективная струя, заглубленный теплоисточник, численные методы.

S.V. Romanov – assistant
A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
V.N. Posohin – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

NUMERICAL RESEARCH OF CONVECTION ABOVE A DEEPENED EXTENDED HEAT SOURCE

ABSTRACT
It has been numerically computed the system of equations of the turbulent flow above a deepened extended heat source. The distribution of axial velocity, temperature and flow rate in a flat convective jet has been obtained.
KEYWORDS: convective jet, deepened heat source, numerical methods.

Известны аналитические решения задач о конвективных струях над круглыми и протяженными теплоисточниками, заделанными заподлицо в ограничивающую плоскость [1]. Гораздо меньше информации имеется о конвекции над теплоисточниками при сложных условиях формирования струи. Можно упомянуть только экспериментальные работы [2, 3], в которых исследовалась конвекция над теплоисточниками в виде объёмных цилиндра и параллелепипеда.

В этой статье решается задача о свободной конвективной струе, возникающей над заглубленным протяженным теплоисточником (рис. 1). Координата *x* отсчитывается от точки О.

Решение ведется численным методом, с помощью комплекса программ *Fluent*. При этом решается полная система уравнений плоского турбулентного движения, включающая: уравнение неразрывности; уравнения движения (Рейнольдса); уравнение переноса конвективной и лучистой энергии; уравнения модели турбулентности; уравнение состояния.

Для замыкания системы уравнений используется стандартная k-e модель турбулентности (k – кинетическая энергия турбулентности; e – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности).

Размеры расчетной области H=11, B=11, размеры углубления изменялись, в пределах $b = 0,3 \div 0,6$, $h = 0,15 \div 0,9$. Границы ***ACDE*** проницаемы, ***ALKGFE*** – непроницаемы.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

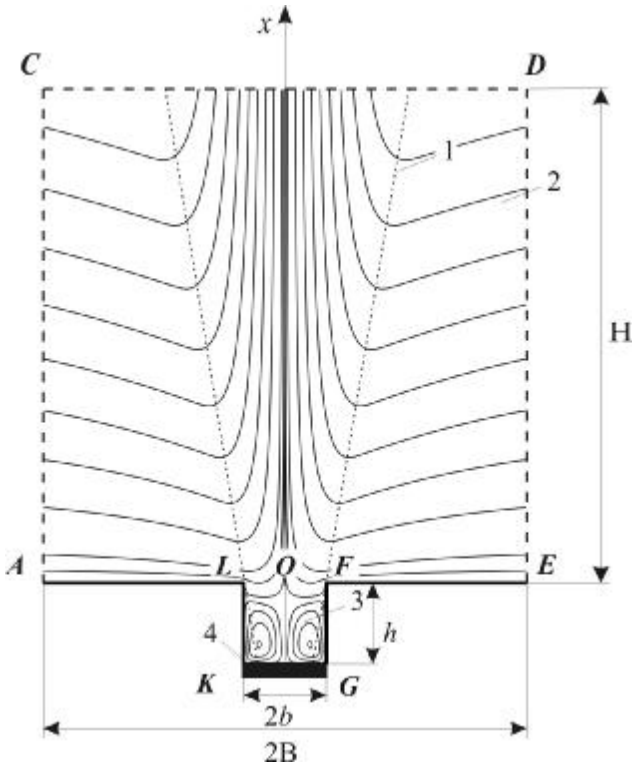


Рис. 1. Схема течения:
1 – струя;
2 – течение вне струи;
3 – циркуляционное течение в углублении;
4 – теплоисточник.

На проницаемых участках назначаем граничные условия *Pressure Outlet*, т.е. на границе задается величина избыточного давления.

Принято:

- избыточное давление на границе – Д*p*=0;
- $\vec{u} = u_n$ - скорость на границе направлена по нормали к ней;
- граница обладает свойствами абсолютно черного тела;
- параметры возвратного течения: $T_\infty = 293{,}15\ K$, *k=0*, e=*0*.

Все остальные величины вычисляются экстраполяцией изнутри расчетной области.

Предполагается, что непроницаемые участки границы ***GFE*** и ***ALK*** имеют ту же температуру, что и подтекающий извне воздух $T_\infty = 293{,}15\,K$. Теплота равномерно выделяется только на участке ***KG***. Тогда граничные условия для непроницаемых участков имеют вид:

<u>отрезки ***GFE*** и ***ALK***</u>

- удельный тепловой поток $Q_0=0$;
- условие непроницаемости – $\partial u_n/\partial n = 0$, $\partial k/\partial n = 0$, где *n* – единичный вектор, направленный по нормали к поверхности;
- коэффициент отражения равен 1;
- генерация кинетической турбулентной энергии, в пристенной области, равна ее диссипации.

<u>отрезок ***KG***</u>

- удельный тепловой поток $Q_0=400$ Вт/м.

Остальные граничные условия те же, что и для других непроницаемых отрезков.

Полная система уравнений решалась методом конечных объемов, при значениях параметров, указанных в таблице.

Распределение температуры на отрезке ***KG*** ($T_п$), конвективная ($Q_к$) и лучистая ($Q_л$) составляющие общей тепловой мощности определялись программой в процессе счета.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица

№ численного эксперимента	Исходные параметры			Рассчитанные параметры		
	h, м	$2b$, м	$Q_о$, Вт/м	$Q_к$, Вт/м	$Q_л$, Вт/м	Ra
$\bar{h} = h/b = 1$						
1	0,15	0,3	400	64,5	335,5	$7{,}3\cdot10^7$
2	0,25	0,5	400	114,8	285,2	$3{,}3\cdot10^8$
3	0,3	0,6	400	130,9	269,1	$5{,}7\cdot10^8$
$\bar{h} = h/b = 2$						
4	0,5	0,5	400	118,3	281,7	$3{,}3\cdot10^8$
5	0,6	0,6	400	135,6	264,4	$6{,}2\cdot10^8$
6	0,9	0,9	400	215,2	184,8	$1{,}9\cdot10^8$
$\bar{h} = h/b = 3$						
7	0,45	0,3	400	61,2	338,8	$9{,}1\cdot10^7$
8	0,75	0,5	400	110,9	289,2	$4{,}0\cdot10^8$
9	0,9	0,6	400	131,6	268,4	$6{,}7\cdot10^8$

Вычислялось также значение критерия Рэлея:

$$\mathrm{Ra} = \frac{(2b)^3 g b \Delta T_п}{n\, a},$$

где g – ускорение свободного падения; b – коэффициент температурного расширения; n, a – кинематическая вязкость и температуропроводность воздуха; $\Delta T = T_п - T_\infty$ – разность средней температуры поверхности источника и температуры окружающего воздуха. Во всех случаях $\mathrm{Ra} > 2\cdot10^7$, что согласно [4] свидетельствует о том, что тепловая конвекция – развитая турбулентная.

Решение задач с использованием вычислительного комплекса *Fluent* начинается с построения расчетной области и сетки в препроцессоре *Gambit*. Результаты решения представляются графически и анализируются с помощью постпроцессора *Tecplot*. В результате решения получены распределения скорости u и избыточной температуры ΔT в исследуемой области.

На рис. 2, 3 представлены типичные картины течений в углублении и в самой струе.

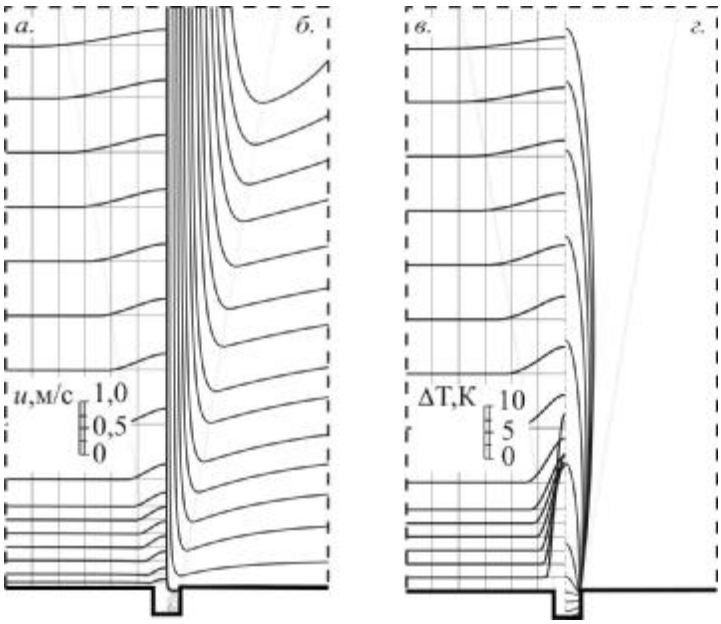


Рис. 2. Картины течения в численном эксперименте № 4
а – профили продольной компоненты скорости; *б* – линии тока;
в – профили избыточной температуры; *г* – изотермы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Угол раскрытия динамических границ струи, определенный по профилям продольной скорости, равен $a_u = 18^{\circ}$, тепловые границы струи несколько шире – $a_T = 21^{\circ}$.

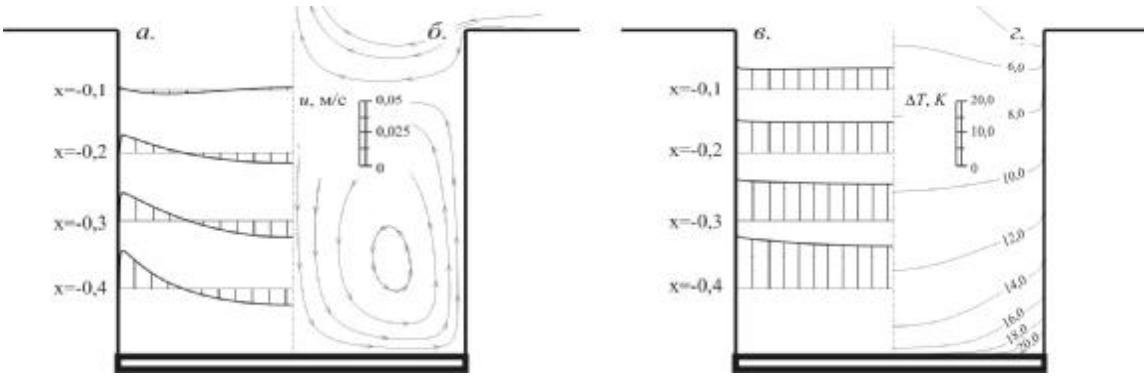


Рис. 3. Картины течения в углублении, в численном эксперименте № 4
а – профили продольной компоненты скорости; *б* – линии тока;
в – профили избыточной температуры; *г* – изотермы

Полученные значения осевых скорости u_x, избыточной температуры ΔT_x и расхода воздуха по сечениям струи L_x сравнивались с расчетами по формулам Шепелева [1], выведенным для случая, когда h=0:

$$\bar{u}_x = \frac{u_x}{\sqrt[3]{\dfrac{gQ_k}{c_p r_\infty T_\infty}}} = \sqrt[6]{\frac{1+\mathrm{Pr}_T}{6\,\mathrm{Pr}_T}}\,\bar{x}^{1/3}\left[erf\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}c}\frac{1}{\bar{x}}\right)\right]^{1/3}; \tag{1}$$

$$\Delta\bar{T}_x = \frac{\Delta T_x \cdot B}{\sqrt[3]{\dfrac{T_\infty Q_k^2}{c_p^2 r_\infty^2 g}}} = \sqrt[6]{\frac{6\,\mathrm{Pr}_T}{1+\mathrm{Pr}_T}}\cdot\frac{1}{2\bar{x}^{1/3}}\frac{erf\left(\dfrac{\sqrt{1+\mathrm{Pr}_T}}{\sqrt{2}\,c}\dfrac{1}{\bar{x}}\right)}{\left[erf\left(\dfrac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}\,c}\dfrac{1}{\bar{x}}\right)\right]^{1/3}}; \tag{2}$$

$$\bar{L}_x = \frac{L_x}{\sqrt[3]{\dfrac{gQ_k}{c_p r_\infty T_\infty}}\cdot B} = \sqrt[6]{\frac{1+\mathrm{Pr}_T}{3p\ \mathrm{Pr}_T}}\sqrt{2}\bar{x}^{1/3}\int_0^\infty\left\{\left[erf\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\frac{\bar{y}+1}{c\bar{x}}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-erf\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\frac{\bar{y}-1}{c\bar{x}}\right)\right]\right\}^{1/3}d\bar{y} = 1{,}107\bar{x}^{1/3}\int_0^\infty\left\{\left[erf\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\frac{\bar{y}+1}{c\bar{x}}\right)-\right.\right. \tag{3}$$

$$\left.\left.-erf\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\frac{\bar{y}-1}{c\bar{x}}\right)\right]\right\}^{1/3};$$

здесь c_p – теплоемкость воздуха; r_∞ – плотность окружающего воздуха, Pr_T – турбулентное число Прандтля (рекомендуемое программой *Fluent* значение Pr_T=0,85), c – эмпирическая константа, рекомендуемое значение которой c=0,082, $\bar{x} = x/b$.

На рис. 4 графики распределений $\bar{u}_{\bar{x}}$, полученные в численных экспериментах, сопоставлены с расчетами по формуле (1). Здесь и далее безразмерное расстояние определялось как $\bar{x} = x/b + h/b$. Все кривые, полученные в численном эксперименте, на основном участке практически совпадают друг с другом и с расчетом по формуле (1). Значение безразмерной скорости здесь примерно равно $\bar{u}_x \approx 2{,}165$, что соответствует [5]. Протяженность разгонного участка, где скорость возрастает от нуля до указанного выше значения, составляет примерно $x_p \approx 20b$. Заметим, что согласно [4] $x_p \approx 4b$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

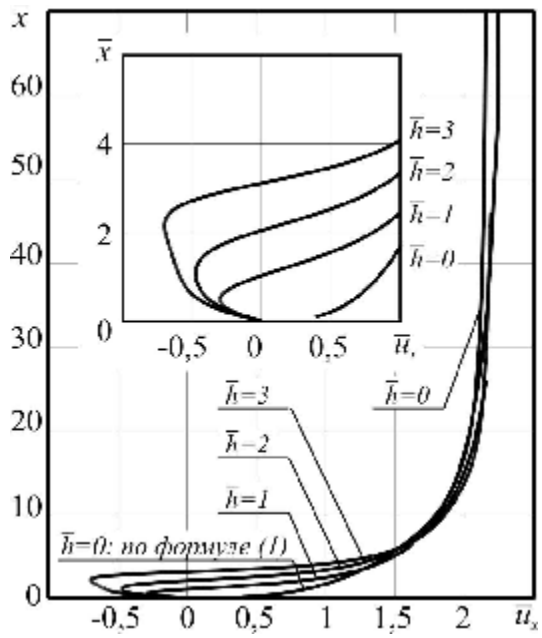


Рис. 4. Безразмерная осевая скорость

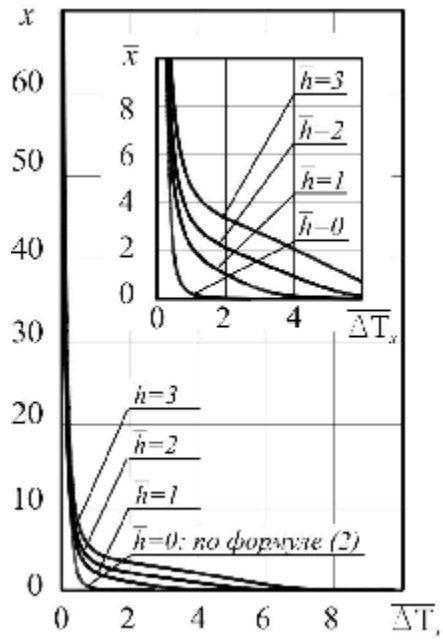


Рис. 5. Безразмерная избыточная осевая температура

Распределение скорости в разгонном участке существенно зависит от параметра заглубления $\bar{h} = h/b$. Здесь имеется зона отрицательных скоростей, обусловленная наличием циркуляционных колец в заглублении. Но, уже начиная с $\bar{x} \approx 5$, все кривые сливаются в одну.

Рис. 5 иллюстрирует изменение безразмерной осевой избыточной температуры. Результаты численного эксперимента совпадают с вычислениями по формуле (2) на расстояниях $\bar{x} > 5$. На этом участке результаты хорошо аппроксимируются формулой

$$\Delta\bar{T}_x \approx 2,2/\bar{x}.$$

В разгонном участке распределение температур также зависит от относительной глубины. С увеличением $\bar{h}$ температура на поверхности источника возрастает.

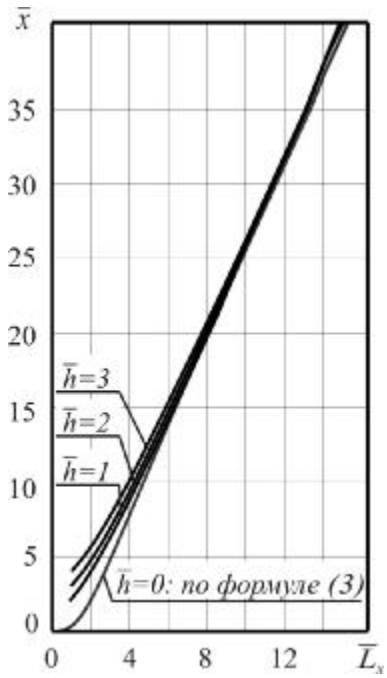


Рис. 6. Безразмерный расход по сечениям струи

На рис. 6 представлены графики изменения $\bar{L}_x$. При $\bar{x} > 10$ связь между модифицированной координатой $\bar{x}$ и расходом может быть представлена линейным уравнением $\bar{L}_x \approx 0,38 \cdot \bar{x}$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На разгонном участке расход возрастает тем интенсивнее, чем меньше $\bar{h}$.

Полученные результаты могут быть использованы при расчете вентиляционных устройств и систем: аэрация, местные отсосы, воздушные завесы и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стройиздат, 1978. – 145 с.
2. Гилязов Д.Г. Исследование влияния высоты заглубления источника тепла на параметры конвективного потока // Межвуз. сб. Гидромеханика в отопительно-вентиляционных устройствах. – Казань, 1982. – С. 34-36.
3. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. – М.: Стройиздат, 1967. – 175 с.
4. Батурин В.В., Эльтерман В.М. Аэрация промышленных зданий. – 2-е изд., исп. и доп. – М.: Госстройиздат, 1963. – 317 с.
5. Посохин В.Н., Зиганшин А.М. Численное исследование конвекции над протяженным теплоисточником // Изв. вузов. Строительство, 2005, № 2. – С. 58-63.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.8: 631.2
М.В. Бодров − кандидат технических наук, ассистент
E-mail: tes84@inbox.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

АННОТАЦИЯ

Разработана методика расчета теплоустойчивости животноводческих зданий и овощекартофелехранилищ, для которых характерна цикличность поступления теплоты в течение суток. При нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждений за расчетный должен приниматься цикл естественной вентиляции, в котором складываются наиболее неблагоприятные температурные условия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициенты теплоусвоения и теплоустойчивости ограждения и помещения, циклы работы систем активной и естественной вентиляции.

M.V. Bodrov – candidate of technical sciences, assistant
Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Engineering

THERMAL STABILITY OF THE PRODUCTION AGRICULTURAL BUILDINGS

ABSTRACT

Is developed the procedure of calculation of the thermal stability of cattle-breeding buildings, vegetable storages and the potato storehouses, for which the cyclic recurrence of the entering of heat in the course of twenty-four hours is characteristic. During rate setting of the thermo-technical characteristics of external enclosures for the calculated must start the cycle of natural ventilation, in which are added the most unfavorable temperature conditions.

KEYWORDS: the coefficients of heat-mastering and thermal stability of enclosure and accommodation, the cycles of the work of the systems of the active and natural ventilation.

Введение. Под теплоустойчивостью помещений понимают их свойство поддерживать относительное постоянство температур при периодически изменяющихся теплопоступлениях. В животноводческих помещениях температурный режим, соответствующий максимальной продуктивности животных, можно рассчитывать как для гражданских и промышленных зданий по приводимым в нормативной и специальной литературе зависимостям [1, 2]. Этот вывод базируется на постоянстве (стационарности в течение суток) поступления теплоты в помещения, сток теплоты в них зависит только от изменения температуры наружного воздуха. Тепловой режим хранилищ картофеля и овощей отличается цикличностью (в соответствии с режимами работы систем активной вентиляции) поступления теплоты в свободный объем помещения в течение суток. В статье рассмотрены особенности расчета теплоустойчивости помещений для содержания животных и разработана методика расчета теплоустойчивости помещений овощекартофелехранилищ.

Теплоустойчивость животноводческих и птицеводческих помещений. Укажем основные особенности и последовательность расчета теплоустойчивости животноводческих помещений. Соотношение между колебаниями теплового потока и температуры на поверхности ограждения определяется коэффициентом теплоустойчивости *Y*. Зависимость теплового потока от температуры воздуха выражается коэффициентом теплопоглощения ограждения $B = A_q / A_{t_в}$. Затухание амплитуды температуры воздуха $A_{t_в}$ при переходе тепловой волны от помещения к внутренней поверхности ограждения, на которой амплитуда колебания равна $A_{ф_в}$, рассчитывается по формуле:

$$A_{t_в} / A_{ф_в} = 1 + Y_1 / б_в, \quad (1)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

где Y_1 – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения; $Y_1 = A_q / A_{ф_в}$; индекс у коэффициента показывает порядок отсчета слоев в ограждении по направлению движения теплового потока q.

Коэффициент теплопоглощения ограждения B показывает колебания амплитуды теплового потока, проходящего через поверхность ограждения, к вызывающей этот поток амплитуде колебания температуры окружающего воздуха. Значение коэффициента теплопоглощения B, Вт / (м^2 °С), равно:

$$B = A_q / A_{t_в} = Y_1 / (1 + Y_1 / б_в) = 1/(1/Y_1 + 1/б_в). \quad (2)$$

Амплитуда изменения теплового потока A_q, поглощаемого поверхностью при колебаниях температуры среды $A_{t_в}$, составляет $A_q = BA_{t_в}$. Если ограждение имеет площадь F, то амплитуда A_Q изменения всего количества теплоты, поглощаемого этой поверхностью, составляет $A_Q = BFA_{t_в}$. Так как в животноводческих помещениях амплитуда колебаний температуры воздуха для всех ограждающих поверхностей одинакова, а в каждый момент между количеством теплоты, подаваемой в помещение и поглощаемой его поверхностями, существует равенство – амплитуда теплопоступлений A_Q равна амплитуде теплопоглощений всеми поверхностями:

$$A_Q = \sum BFA_{t_в}. \quad (3)$$

Из (3) имеем основное уравнение теплоустойчивости:

$$A_{t_в} = A_Q / P. \quad (4)$$

В (4) $P = \sum YF$ – показатель теплопоглощения помещения, равный суммарной теплопоглощающей способности всех поверхностей в помещении. Приведенные зависимости позволяют с достаточной точностью провести расчет колебаний температуры воздуха в животноводческих помещениях.

Теплоустойчивость овощекартофелехранилищ. Проведенные исследования [3, 4] позволяют сделать вывод о большой тепловой инерционности как насыпей сочного растительного сырья (СРС), так и хранилищ в целом. Выполненные теплофизические расчеты по определению теплоустойчивости наружных ограждений типовых хранилищ дают значения показателя затухания температурных колебаний для бесчердачных покрытий $n \approx 700$ и для наружных стен $\nu \approx 400$, показателя запаздывания сквозного проникновения температур соответственно $\varepsilon \approx 23$ ч и 26 ч. Поэтому суточные колебания температуры наружного воздуха не оказывают практического влияния на температуру их внутренних поверхностей. Подтверждением этого положения являются полученные нами термограммы и гигрограммы параметров воздуха в зимний период года (рис. 1) в полузаглубленном картофелехранилище. На термограмме отчетливо наблюдаются моменты включения и продолжительность работы систем активной вентиляции по характерному снижению температуры. Параметры относительной влажности воздуха в хранилище $j_в^х$ более стабильны.

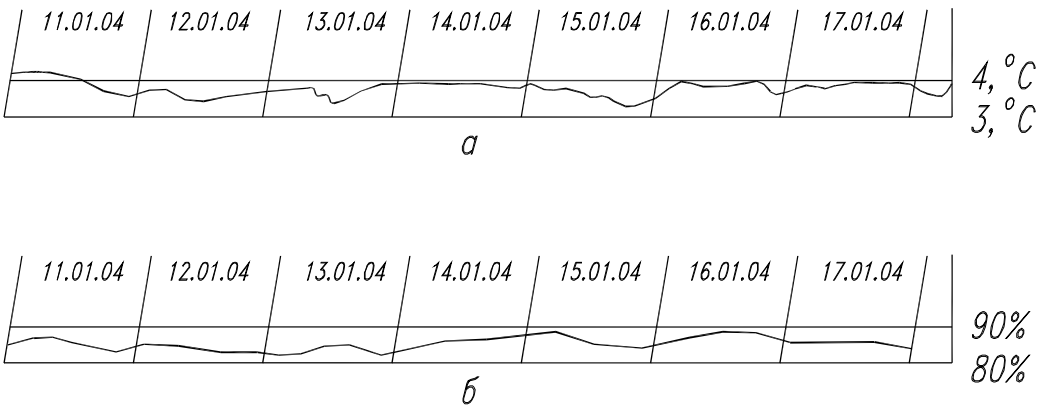


Рис. 1. Изменение параметров воздуха над насыпью клубней: *а* – термограмма; *б* – гигрограмма

Выявим периоды наиболее неблагоприятных температурных условий в свободном объеме хранилища V_c, создающихся при цикличной работе систем активной вентиляции (САВ). Такие исследования необходимы для уточнения минимальной мощности систем отопления, а также для

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

обоснования выбора объективных исходных данных при нормировании и расчете теплотехнических характеристик наружных ограждений хранилищ.

Количество теплоты, поступающей в верхнюю зону хранилища, меняется во времени. Во время цикла естественной конвекции (ЕК), когда САВ не работают, максимальное количество поступающей теплоты равно:

$$Q_{\text{ЕК}}^{max} = Q_{\text{б}} ш_{\text{к}} . \quad (5)$$

Коэффициент $\psi_к$ показывает отношение удаляемой естественной конвекцией теплоты из насыпи картофеля или овощей к теплоте дыхания продукции. Он принимается по полученной нами экспериментальной зависимости (6) или по рис. 2, полученному на основе анализа литературных данных.

$$ш_{\text{к}} = 2{,}95 u_{\text{Е}} / h q_{\text{СРС}} . \quad (6)$$

Естественная конвекция может снять всю теплоту дыхания при значении комплекса $q_{\text{СРС}} h / u_{\text{Е}} \le 2{,}95$. Доля биологической теплоты, удаляемой естественной конвекцией, снижается с уменьшением скорости воздуха в насыпи $u_{\text{Е}}$, м/с, с увеличением высоты насыпи h, м, и интенсивности удельных тепловыделений сочного растительного сырья $q_{\text{СРС}}$, Вт/т.

Среднечасовое количество теплоты, вносимое за цикл ЕК в свободный объем хранилищ, составляет $Q_{\text{ЕК}}^{\text{ср}} = Q_{\text{ЕК}}^{max}$. В период цикла вынужденной конвекции (ВК), длящегося m ч, доля теплоты дыхания не превышает для картофеля и свеклы 1,8 %, для моркови 1,9 %, для капусты 2,8 % [6]. Основное количество теплоты поступает в хранилище с воздухом, нагреваемым в слое СРС. Выразим его среднеарифметической величиной теплопоступлений в начале и в конце цикла ВК $Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} = (Q_{\text{ВК}}^{max} + Q_{\text{ВК}}^{min}) / 2$.

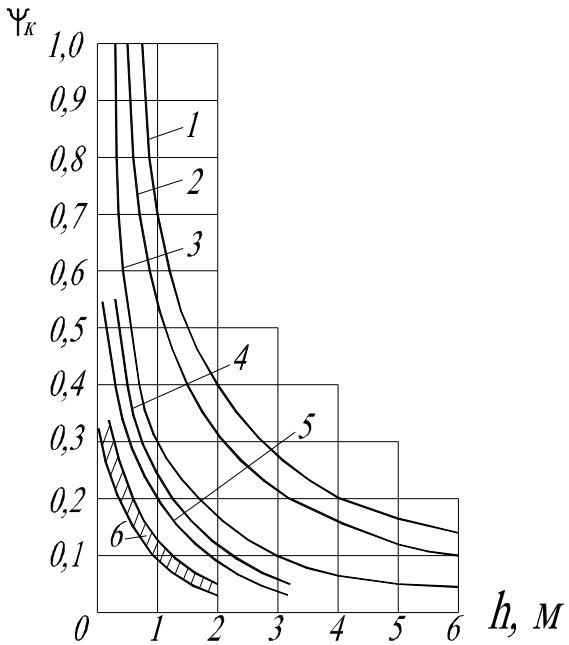


Рис. 2. Значения коэффициента $ш_{\text{к}}$ для насыпей клубней и кочанов: *1* – нетравмированные клубни с $q_{\text{СРС}}$ по [5]; *2* – травмированные клубни с $q_{\text{СРС}}$ по [5]; *3* – среднереализуемая насыпь клубней [6]; *4* – нетравмированные кочаны с $q_{\text{СРС}}$ по [5] до усадки; *5* – среднереализуемая насыпь кочанов до усадки [6]; *6* – нетравмированные кочаны с $q_{\text{СРС}}$ по [5] после усадки [6]

При расчете теплоустойчивости помещений хранилищ возмущающие воздействия в свободной верхней зоне за полный цикл работы САВ можно представить количественно следующими величинами: подача теплоты отсутствует в период ЕК длительностью ($1 - K_{\text{в}}$), где $K_{\text{в}} = m / T$ – доля времени цикла вынужденной конвекции; количество теплоты равно постоянной величине $Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}}$ в период цикла ВК длительностью $K_{\text{в}}$ (жирная пунктирная линия на рис. 3).

Среднечасовое количество теплоты определяется из выражения:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} = [q_{\text{СРС}} G_{\text{р}} K_{\text{в}} + Q_{\text{ЕК}}^{\text{ср}} (1 - K_{\text{в}})] / K_{\text{в}} . \quad (7)$$

Коэффициент прерывистости Ω зависит от величины коэффициента $K_{\text{в}}$ и момента времени z / T, для которого определяется значение $\Delta\text{ф}_{\text{в.п}}$. Максимальное повышение температуры поверхности ограждения соответствует моменту времени окончания подачи теплоты, то есть моменту окончания цикла ВК (рис. 3).

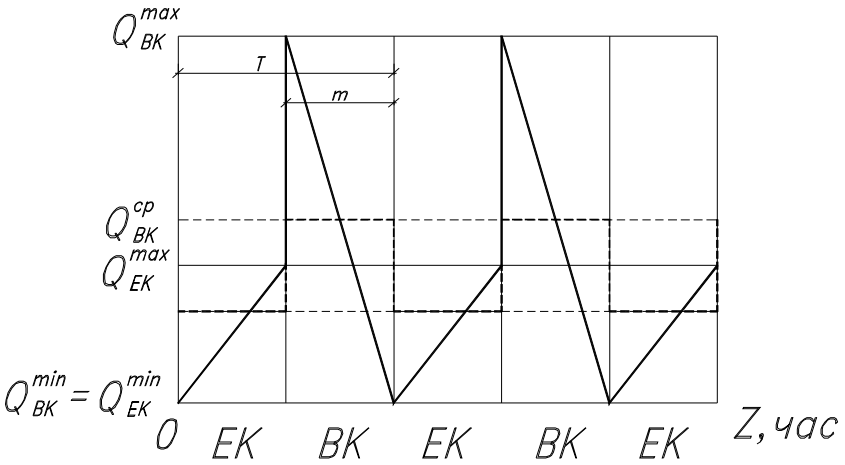


Рис. 3. Интенсивность поступления теплоты в верхнюю зону хранилища

Показатель теплопоглощения помещения определяется по значениям показателей теплопоглощения Y_i и площадей F_i отдельных ограждений аналогично значению P в формуле (4): $Y_n = \sum Y_i F_i$.

Полный перепад температур поверхностей за время T составляет:

$$\text{ф}_{\text{в.п}}^{max} - \text{ф}_{\text{в.п}}^{min} = Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} (\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_n , \quad (8)$$

где Ш_{max} и Ω_{min} – максимальное и минимальное значения коэффициента прерывистости [1].

При цикличном притоке теплоты в хранилище изменение температуры воздуха свободного объема $\Delta t_{\text{в.п}}$ отличается от изменения температур поверхностей наружных ограждений $\Delta t_{\text{в.п:}}$:

$$\Delta t_{\text{в.п}} = \Delta\text{ф}_{\text{в.п}} + Q_{\text{ВК}}^{\text{ср}} / \Lambda . \quad (9)$$

Полный перепад температуры воздуха за период времени T выразится зависимостью:

$$t_{\text{в.п}}^{max} - t_{\text{в.п}}^{min} = t_{\text{в.п}}^{max} - t_{\text{в.п}}^{min} + Q_{\text{в.п}}^{\text{ср}} / \Lambda , \quad (10)$$

где $\Lambda = \sum a_{\text{к}i} F_i$ – показатель конвективного теплообмена в помещении.

Отклонение температур поверхностей и воздуха в помещении в любой момент через z ч после начала тепловыделений определяется по методике, приведенной в [1].

Пример. Определим теплоустойчивость помещения типового хранилища.

Навальное картофелехранилище имеет емкость $G_{\text{р}}$ = 1200 т, высота насыпи h = 3,0 м, интенсивность биологических тепловыделений $q_{\text{СРС}}$ = 17,0 Вт/т, объем насыпи клубней $V_{\text{к}}$ = 1850 м^3. Температура поступающего в насыпь воздуха $t_{\text{в.о}}$ = 1,5°С, допустимое колебание температуры насыпи $t_{\text{к } max}$- $t_{\text{к } min}$ = 2 °С, минимальная температура воздуха в хранилище в конце цикла вынужденной конвекции $t_{\text{в}}$ = 2,5 °С, коэффициент $K_{\text{в}}$= 0,229 (m = 5,5 ч).

Интенсивность естественной конвекции в насыпи (м/ч) при средней разности температур клубней и воздуха хранилища $\Delta t_{\text{ВЕ}}$ = 2°С равна [6]:

$$u_{\text{Е}} = 0,94.10^{-3} 3600 \Delta t_{\text{в.е}} = 0,94.3600 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 6,76 \text{ м/ч}.$$

По (7) определим среднечасовое количество теплоты, удаляемой из насыпи:

$$Q_{\text{в.к}}^{\text{ср}} = [q_{\text{СРС}} G_{\text{р}} K_{\text{в}} + 0,587 G_{\text{р}} u_{\text{Е}} (1 - K_{\text{в}}) / h] / K_{\text{в}} =$$

=[17,0·1200·0,229+0,587·1200·6,76(1–0,229)/3]/0,229=25750 Вт.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При m = 5,5 ч, T =2 4 ч значения $\Omega_{max} = 0{,}829,\ \Omega_{min} = -0{,}545$ [1].

Значения показателя теплоусвоения помещения Y_n находим по [1]. Наружная стена выполнена из силикатного кирпича δ = 0,64 м, $F_{ст}$ = 595 м^2. Бесчердачное покрытие $F_{покр}$ = 1080 м^2 состоит из водоизоляционного ковра, выравнивающего слоя, теплоизоляции (керамзита), пароизоляционного слоя и несущих железобетонных ребристых плит. Внутренние стены площадью $F_в$ = 120 м^2 из силикатного кирпича, пол из асфальтобетона $F_{пл}$ = 108 м^2. Поверхность картофеля в теплопоглощении не участвует.

Вычисленные значения показателей теплоусвоения для отдельных видов ограждений равны: для наружных стен $Y_н$ = 9,75 Вт/(м^2 °С); для покрытия $Y_п$ = 8,50; для внутренних стен $Y_в$ = 6,53; для пола $Y_п$ = 32,6 Вт/(м^2 °С). Показатель теплоусвоения хранилища:

$$Y_п = 35{,}07 \cdot 595 + 30{,}58 \cdot 1080 + 23{,}5 \cdot 120 + 117{,}36 \cdot 108 = 19\,270 \text{ Вт / °С}.$$

Полный перепад температур поверхностей

$$t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min} = Q_{в.к}^{ср}(\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_п = 25750[0{,}829 - (-0{,}545)] / 19270 = 1{,}84 \text{ °С}.$$

Для предотвращения конденсации влаги на ограждениях минимальное значение перепада температур внутреннего воздуха и внутренних поверхностей принимаем равным 0,6 °С.

По [7] коэффициенты конвективной теплоотдачи для помещений с повышенной относительной влажностью для вертикальных и горизонтальных поверхностей равны:

$$\alpha_{к.в} = 10{,}9\sqrt[3]{(t_в - \tau_в)};\ \alpha_{к.г} = 13{,}4\sqrt[3]{(t_в - \tau_в)}.$$

Тогда $б_{к.в} = 10{,}9\sqrt[3]{0{,}6} = 9{,}22 \text{Вт / (м}^2\,^oC);\ a_{к.г} = 13{,}4\sqrt[3]{0{,}6} = 11{,}33 \text{Вт / (м}^2\,^o\text{С)}.$

Показатель конвективного теплообмена в помещении $\Lambda = 17730 \text{Вт/}^o\text{С}$. Полный перепад за цикл работы САВ по (10) составляет ($t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min}$)= 1,84 + 25750 / 17730 = =1,84 + 1,45 = 3,29 ^{o}С.

Для г. Нижнего Новгорода с $t_н$ = – 31 °С разница в теплопотерях хранилищем между началом и концом цикла работы САВ составляет $\{100[2+3.29-(-31)]/\{2-(-31)]\} - 100$ =11 %.

Заключение. Теплоустойчивость животноводческих помещений рассчитывается по методике для производственных зданий, приводимой в нормативной и специальной литературе. Разработанная методика расчета теплоустойчивости овощекартофелехранилищ позволила выявить, что наиболее неблагоприятные температурные условия в помещениях хранилища создаются в цикле естественной конвекции, когда теплопоступления в верхнюю зону минимальны. Поэтому период цикла естественной конвекции должен приниматься в качестве расчетного при нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций: минимальные температуры $t_в$ и максимальные значения относительной влажности внутреннего воздуха $\varphi_в$ из рекомендуемых [5] для каждого из видов хранящейся продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
2. Кувшинов Ю.А. Развитие теории теплоустойчивости // Сб. трудов II съезда АВОК, т. 1, 1992. – С. 35-43.
3. Волков М.А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.
4. Жадан В.З. Влагообмен в плодоовощехранилищах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.
5. ОНТП 6-86. Общесоюзные нормы технологического проектирования зданий и сооружений для хранения и переработки картофеля и плодоовощной продукции. – М.: Минплодоовощхоз СССР, 1986. – 40 с.
6. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата. – Горький: Волго-Вятск. кн. изд-во, 1985. – 220 с.
7. Егиазаров А.Г., Кокорин О.Я., Прыгунов Ю.М. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий. – Киев: Будівельник, 1976. – 223 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 69.057; 658.382.3(0.35.5)
И.К. Садртдинов – директор
E-mail: tatkomen1@yandex.ru
Республиканское производственное объединение «ТАТКОММУНЭНЕРГО»
А.М. Мусаев – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗЛОПАСТНЫХ ТЯГОДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ В КОММУНАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся объяснения формирования и генерации хобота-торнадо, разработки способа и модели промышленной установки для усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах; изыскание возможных путей их использования в системах дымоотведения и вентиляции коммунальных и промышленных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вихревые потоки, торнадо, безлопастное усиление тяги, аварийная вентиляция, дым, агрессивная среда.

I.K. Sadrtdinov – director
RPO «TATKOMMUNENERGO»
A.M. Musaev – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

THE APPLICATION OF NON FAN DEVICES FOR CREATING TRACTION IN UTILITY AND INDUSTRIAL OBJECTS FOR THE MOVEMENT OF HIGH-TEMPERATURE AND CORROSIVE GASES

ABSTRACT

The article explains the formation and the generation of tornado’s trunk, develops the ways and models of industrial devices for increasing the traction in the flue and ventilation ducts; explores their possible use in systems of diversion and smoke ventilation systems for public utilities and industrial facilities.

KEYWORDS: vortex flows, tornadoes, gain traction control, alarm ventilation, smoke, hostile environment.

Изобретение относится к одной из самых энергоемких отраслей производства, таких как сжигание топлива в интересах технологических процессов, отопления и вентиляции. В результате сжигания топлива значительные объемы тепла выбрасываются в атмосферу с бытовыми, сбросными газами и отработанными вентиляционными потоками. Температуры сбросных и дымовых газов даже нормируются в пределах 250-400 ^{o}C.

Изобретение также направлено на исключение при перемещении агрессивных и дымовых газов, энергоемких, сложных в конструктивном исполнении и обслуживании дымососов и вентиляторов, особенно в пожаро-взрывоопасных производствах.

В известных способах усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах для перемещения потоков сбросных и дымовых газов используются весьма энергоемкие, сложные в конструктивном исполнении и обслуживании дымососы и вентиляторы [1]. Работа дымососов и вентиляторов в агрессивных и высокотемпературных средах приводит к быстрому износу наиболее нагруженных их лопастей, разбалансировке всего механизма и требует дополнительных затрат на восстановление. Поэтому целью изобретения было изыскание способа перемещения агрессивных и высокотемпературных потоков газа безлопастными, конструктивно упрощенными устройствами, используя для этого собственные энергоресурсы и кинетическую энергию самих потоков [2].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Сущность способа безлопастного усиления тяги дымовых и вентиляционных каналов заключается в использовании энергетического потенциала двух восходящих вихревых потоков. Первичный вихревой восходящий поток создают у стенок в воронке-конусе за счет тангенциального подвода сжатого воздуха, а в центр восходящего вихревого потока подают дополнительные потоки перемещаемых газов с большим перепадом температур.

Устройство безлопастного усиления тяги дымовых и вентиляционных каналов состоит из воронки-конуса, установленной вершиной на всасывающий конус и имеющей в нижней части тангенциальные патрубки для подвода сжатого воздуха. В верхней части воронки-конуса установлен вершиной вниз конус-карман, опущенный на одну треть воронки-конуса и заглушенный по ее образующей. На конусе-кармане жестко закреплен сборный конус, вершина которого выполнена с фланцем, соединяющим устройство с газоотводящей трубой. Кроме того, конус-карман снабжен патрубком для сбора конденсата и шлама, а также тангенциальным патрубком для смывания шлама, тем самым выполняя и задачи газоочистки.

Способ безлопастного усиления тяги и конструкция устройства разработаны на основе современных представлений о механике потоков в торнадо [3]. Сущность изобретения поясняется на рисунках 1-3.

На рис. 1 показана схема генерации хобота торнадо [4]. Радарными наблюдениями удается измерить скорости вращения воздуха внутри него. Движение воздуха в системе торнадо обычно происходит против часовой стрелки, при этом наблюдается быстрое вращение «стенок» воронки и встречное вертикальное течение воздуха J_o в ее центре. По мере самогенерации вихревого движения за счет собственного массодинамического поля вихря происходит интенсивное возрастание скорости кольцевого $J_к$ и осевого J_o движения воздуха внутри вихря, т.е. образуется быстровращающаяся вихревая трубка.

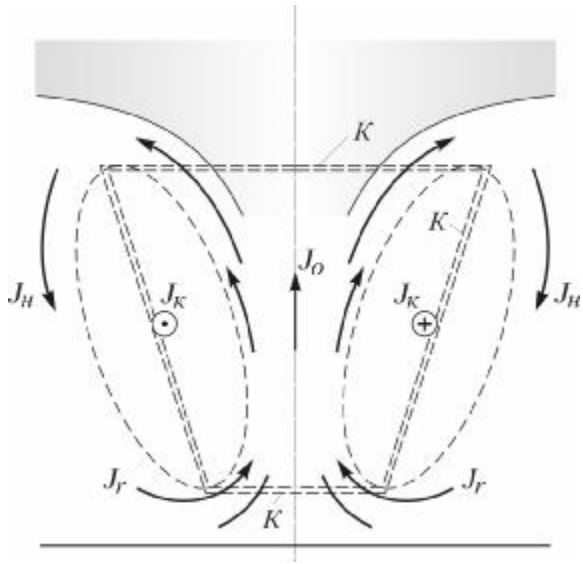


Рис. 1. Схема генерации торнадо [4]:
$J_к$ – кольцевой гравитационный поток;
J_o – осевое движение воздуха внутри вихря (восходящий поток);
$J_н$ – нисходящий поток по периферии вихря;
J_r – радиально подсасываемый воздух (гравитационный поток);
К – жесткая воронка-конус модели.

По периферии вихря идет нисходящий поток $J_н$. Этим можно объяснить то, что не разность давлений приводит к подъему предметов в стволе вихря, а действие сил со стороны массодинамического поля вихря и скоростного напора воздуха. При этом предметы могут быть подняты на большую высоту внутри вихря или вдавлены в землю на его периферии в зависимости от полученного направления движения потоков.

При вращении вихря против часовой стрелки внутри вихря возникает восходящий поток J_o, а снаружи – нисходящий $J_к$. Вертикальный гравитационный ток вихря J_o генерирует собственное кольцевое массодинамическое поле вихря с собственной напряженностью, которое взаимодействует с горизонтальными потоками подсасываемого воздуха – гравитационными токами J_r. В результате возникает осевая массодинамическая сила, которая направлена вертикально вверх и, следовательно, ускоряет общий восходящий поток внутри вихря, увеличивая J_o. На периферии вихря эта сила направлена вниз, формируя нисходящий поток воздуха, который практически вдавливает предметы в землю.

При разработке способа и модели промышленной установки для усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах нас могли интересовать только те массодинамические процессы, которые

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

генерируют восходящие потоки J_o внутри вихря и интенсифицируют радиальные потоки подсасываемого воздуха J_r. Потоки на периферии $J_к$, направленные вниз, не могут быть использованы для усиления восходящих потоков внутри вихря. Поэтому появилась необходимость при моделировании хобота торнадо отсечь непродуктивную часть путем введения жесткого конуса (*К*) в середину гравитационного кольца $J_к$. Создавая вихревой поток внутри жесткого конуса искусственно за счет сжатого и компримированного воздуха, удается исключить периферийную часть кольцевого гравитационного потока $J_к$ (рис. 2).

В предлагаемом способе безлопастного усиления тяги дымовых и вентиляционных каналов для создания тяги используется энергетический потенциал восходящих вихревых потоков. Первичный вихревой восходящий поток формируется в воронке-конусе за счет тангенциального ввода струй сжатого воздуха. В центр восходящего вихревого потока направляют поток перемещаемых газов (J_r) с большим перепадом температур.

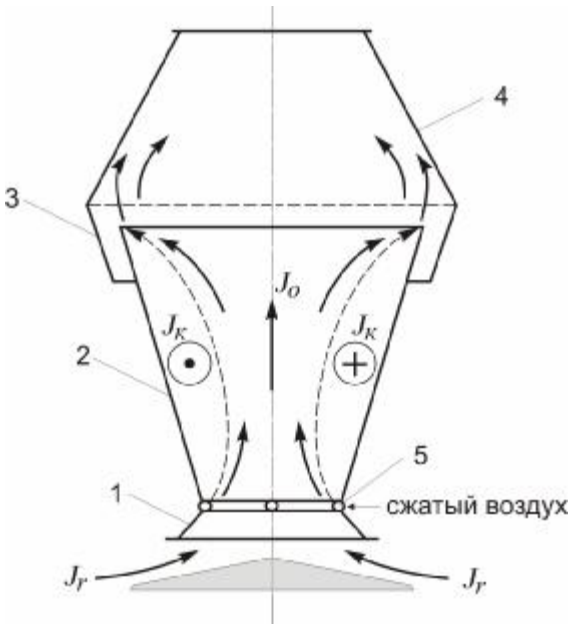


Рис. 2. Модель безлопастного устройства для усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах

Это, в свою очередь, не противоречит первому закону термодинамики, когда оба потока участвуют в турбулентном энергообмене и создании дополнительной работы по увеличению скоростей радиально подсасываемых потоков [5]:

$$dq = dh + d(c^2/2),$$

где dq – теплота, подведенная к рабочему телу, движущемуся со скоростью *c*; идет на увеличение его энтальпии dh и кинетической энергии;

$d(c^2/2) = -Vdp$ – кинетическая энергия рабочего тела, в данном случае равна технической работе по увеличению скорости вращения совместных потоков.

Описывая процессы возникновения воздушных вихрей, многие исследователи отмечают, что источником энергии для их воспроизводства может быть только внутренняя кинетическая энергия среды, а также высокая температура воздуха и энергия, выделяющиеся при конденсации паров воды, чем и объясняется массодинамическая природа вихревых процессов [3].

Учитывая сложность вышеописанных процессов, появилась необходимость модельной материализации устройства до реализации патента в производственных условиях. Основной задачей было правильно сформировать в воронке-конусе кольцевой гравитационный поток $J_к$. В предварительной схеме устройства ввод сжатого (компримированного) воздуха осуществляется через тангенциальные патрубки. Но это не позволяло создавать равномерно распределенное кольцевое движение вихря внутри конуса.

По результатам испытаний различных вариантов образцов выбор был остановлен на четырех подающих патрубках (рис. 3), что позволило при оценке геометрии конуса-воронки воспользоваться ранее разработанными методиками расчета вихревых устройств с тангенциальным вводом [6].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

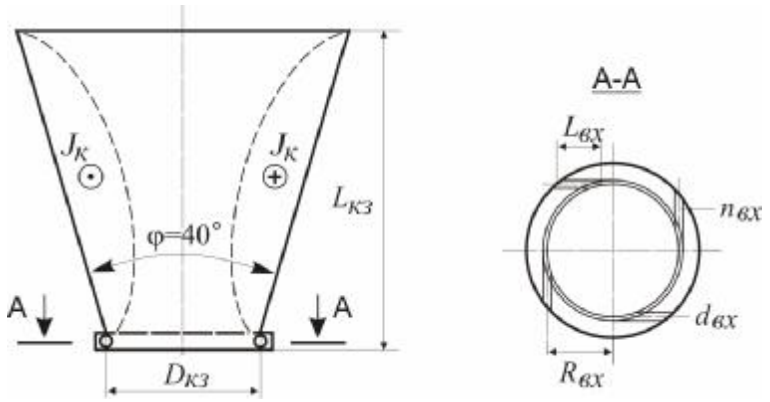


Рис. 3. Схема тангенциального ввода воздушных потоков в воронку-конус

Геометрический параметр конуса (*A*) определяется по формуле [6]:

$$A = \frac{R_{вх} \cdot r_c}{n_{вх} \cdot r_{вх}^2},$$

где $R_{вх}$ – радиус входа; r_c – радиус сопла; $n_{вх}$ – число входных каналов; $r_{вх}$ – радиус входного канала.

Степень раскрытия сопла – $C = R_{вх}/r_c$; относительная длина входного канала – $L_{вх} = L_{вх}/d_{вх}$; относительная высота камеры закручивания принимается по образующей конуса – $L_{КЗ} = L_{КЗ}/D_{КЗ}$, где $L_{кз}$ – высота образующей конуса; $D_{кз}$ – диаметр основания камеры закручивания.

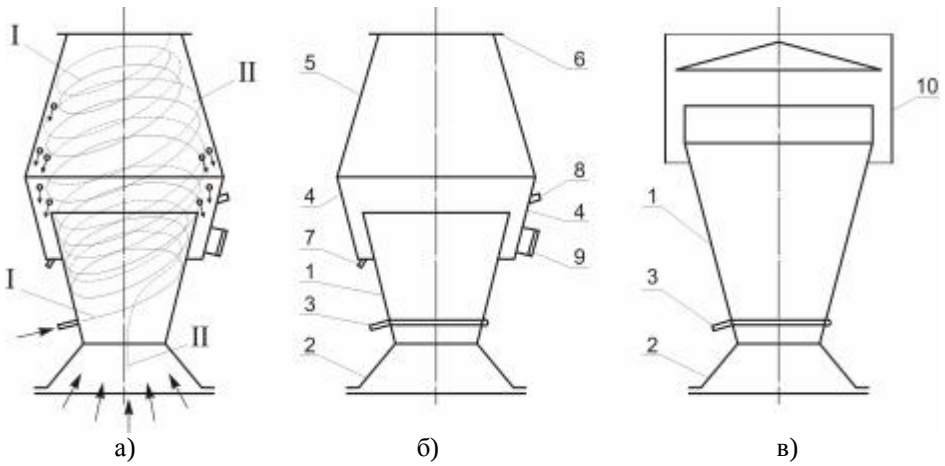


Рис. 4. Конструктивные особенности испытываемых устройств

На рис. 4 *а* изображены траектории вихревых потоков, созданного сжатым воздухом *I* и второго потока перемещаемых газов *II*, вводимого в центр вращающегося вихря. На рис. 4 *б* показано устройство безлопастного усиления тяги дымовых и вентиляционных каналов, которое состоит из воронки-конуса 1, установленной вершиной на всасывающий конус 2. В нижней части воронки-конуса 1 установлены тангенциальные патрубки 3 для подвода сжатого воздуха. На воронку-конус 1 сверху посажен вершиной вниз конус 4 с основанием, большим основания воронки-конуса 1. Конус 4 опущен на одну треть воронки-конуса 1, создавая карман, заглушенный по образующей воронки-конуса 1. На конус-карман 4 установлен сборный конус 5, равного диаметра по основанию конуса-кармана 4. Вершина сборного конуса 5 оканчивается фланцем 6 для соединения с газоотводящей трубой. Конус-карман 4 снабжен патрубком 7 для сброса конденсата и шлама, тангенциальным патрубком 8 для смыва шлама, смотровым окном 9. На рис. 4 *в* показан дефлектор, в который введена воронка-конус 1 и вместо сборного конуса 5 установлено кольцо-обтекатель 10.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Весь конструктивный ряд устройств моделировался с разными параметрами и с использованием в конусе-воронке сжатого воздуха под давлением от 0.2 до 0.6 МПа, или струями от малых тягодутьевых устройств высокого давления.

Для испытания моделей создавалась специальная камера с двумя каналами на входе и выходе воздушного потока. На входе в камеру устанавливались замерные коллекторы, а на канал выхода потока размещался всасывающий конус модели. Для создания и регулирования температурного режима перемещаемых потоков были установлены воздушные тэны с общей мощностью до 4.5 кВт.

Обобщенные результаты испытаний показали, что соотношение объемов подаваемого сжатого воздуха и подсасываемого газа колеблется в пределах от 2 до 6ч8 раз, в зависимости от давления сжатого воздуха (0.2-0.6 МПа). Это позволяет организовать регулирование производительности установки в широких пределах в производственных условиях.

Согласно лицензионному договору на использование патента были изучены проблемные вопросы в коммунальных и промышленных объектах, связанных с жизнеобеспечением. Современное строительство жилых комплексов требует повышения этажности сооружений жилищного фонда и производственных объектов, что ведет к осложнению системы жизнеобеспечения. В случаях пожарной ситуации высотные дома остаются без аварийной защиты. В основном, выходят из строя электрокоммуникации и вентиляторы, которые могут работать в аварийном режиме не более 40-60 мин. [7]. При использовании естественной вентиляции в период летнего безветрия гидростатическое давление отсутствует, шахты и типовые дефлекторы не работают – высотные дома остаются без вентиляции. Подобные явления распространяются и на пожароопасные объекты категории А, Б и т.д., поэтому на данных объектах используется принудительная энергоемкая вентиляция, исключая дешевый ветровой напор.

Как один из путей решения этих проблем, было рассмотрено использование безлопастных вентиляционных и модернизированных дефлекторов, способных работать длительное время при температуре более 600 °С. При совмещении этих двух моделей они могут работать на вытяжной и подпорной ветвях вентиляции (рис. 5).

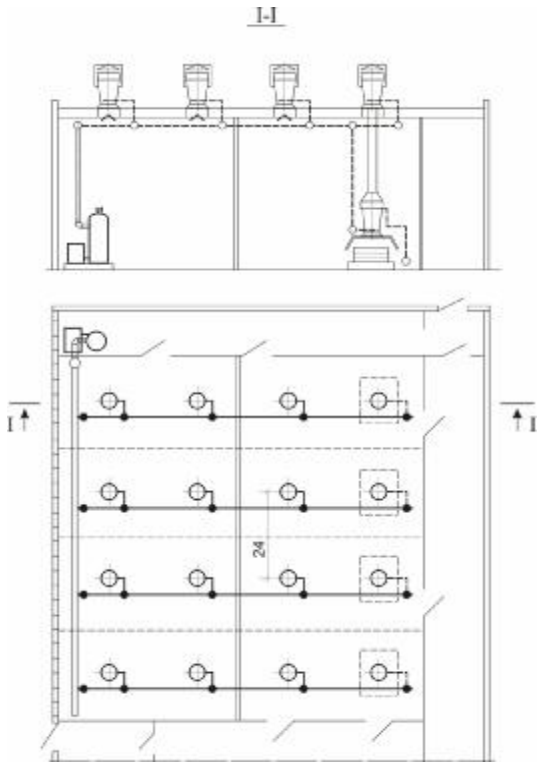


Рис. 5. Схема типового цеха категории А, Б. Помещение разделено на дымовые зоны: ⊕ – дымовые шахты оборудованы дефлекторами периодического действия от сжатого воздуха; – местные вытяжки с очисткой выбросов

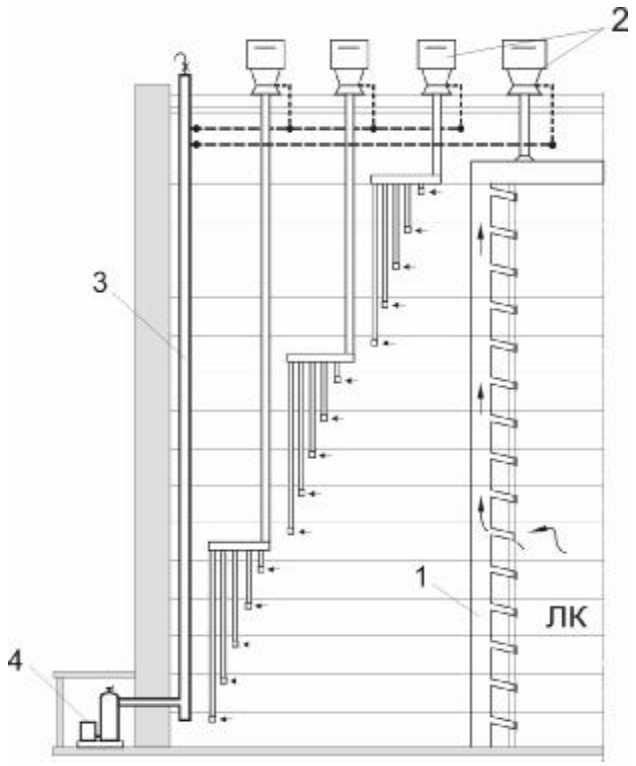


Рис. 6. Схема одного из возможных вариантов аварийной вентиляции жилого дома при пожаре и безветрии в теплый период года: ЛК – лестничная клетка; 1 – шахта противодымной вентиляции; 2 – дефлекторы периодического действия на сжатом воздухе; 3 – труба-ресивер; 4 – компрессор с ресивером

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В общеобменной вентиляции высотных домов модернизированные дефлекторы будут работать по принудительной схеме, т.е. включаться в сеть сжатого воздуха в период летнего безветрия и при аварийных условиях. Остальное время года дефлекторы будут работать по обычной расчетной схеме под воздействием ветрового напора (рис. 6). Аварийный режим вентиляции высотного дома может обеспечиваться сочетанием принудительной работы модернизированных дефлекторов и подпорным режимом безлопастных установок за счет запаса воздуха в ресиверах и трубах-ресиверах, даже при выходе из строя электропитания [8].

Для обеспечения вентиляции в период летнего безветрия в высотных домах, находящихся в эксплуатации, предложена схема (рис. 7), сочетающая модернизированный дефлектор с малым высоконапорным вентилятором, через всасывающий патрубок которого осуществляет отбор воздуха в той же шахте, что и для создания восходящего вихревого потока в дефлекторе. Это позволяет использовать тягу дефлектора и вентилятора в тандем-системе из одной и той же вентиляционной шахты. Вентилятор будет работать периодически только при отсутствии тяги в вентиляционной шахте и выключаться при возрастании ветрового напора на дефлектор. Также его система включения должна быть сблокирована с аварийной системой вентиляции здания.

Рассматриваемый патент применим и в вопросах по снижению загрязнения атмосферного воздуха дымовыми и агрессивными газами в результате работы на газообразном топливе котельных и промышленных печей. Опасность загрязнения усугубляется тем, что данные объекты располагаются на промышленных площадках в городской черте.

В продуктах сгорания любого топлива, содержащего углеродистые соединения, в случаях недостатка воздуха и нарушении режима горения, появляются: оксид углерода, окислы азота, диоксиды и другие сопутствующие неполному сгоранию топлива углеводороды.

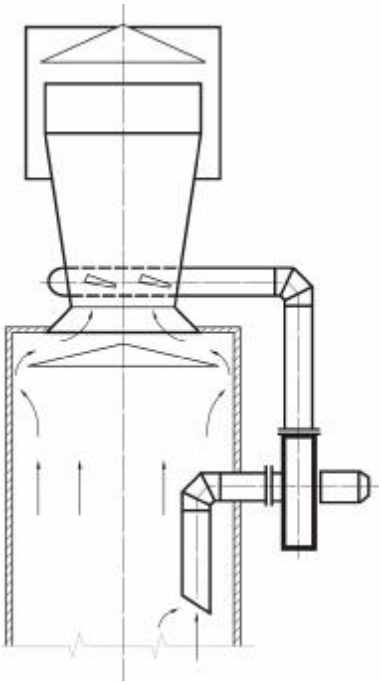


Рис. 7. Вентиляционная шахта оборудована дефлектором с побудителем вихря от вентилятора высокого давления

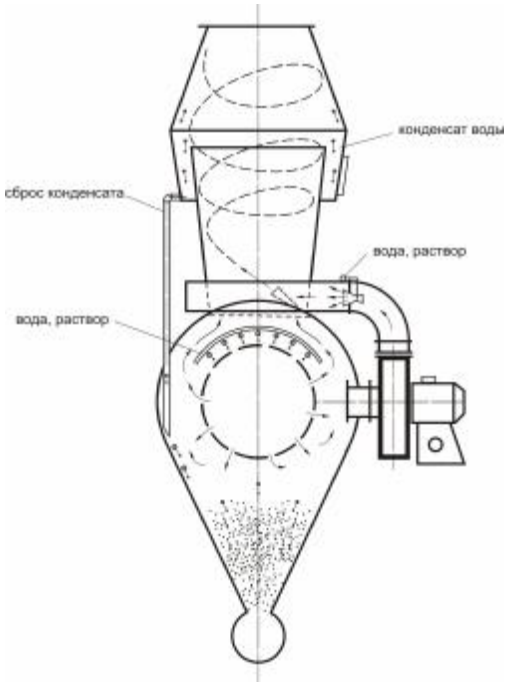


Рис. 8. Схема дымососа-промывателя дымовых и агрессивных газов для котельных и промышленных печей, работающих на газовом топливе

От общего объема выбрасываемых газов диоксиды (углекислые газы) составляют 12-15 %. Основным методом борьбы с загрязнением атмосферы в селитебных и промышленных зонах от печей, работающих на газообразном топливе, является выброс дымовых газов вверх через трубы на нормированную высоту. Поэтому котельные установки коммунального сектора используют уравновешенную систему искусственной тяги. При этом для преодоления сопротивления воздушного тракта и подачи воздуха устанавливают дымососы и дутьевые вентиляторы. Назначением дымовой трубы становится отвод продуктов сгорания в атмосферу на нормированную высоту за счет резервируемого гидростатического давления.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В предложенной схеме (рис. 8), не нарушая уравновешенной системы искусственной тяги котельной или промышленной печи, реализуется возможность замены дымососа на безлопастную установку. Так как, учитывая единичность объекта, сооружать компрессорное хозяйство будет неэффективно, было принято решение применить тандем-систему с использованием дымососа высокого давления меньшей мощности. Подбор безлопастной установки и соответствующего дымососа осуществляется в зависимости от их суммарной тяги и объема перемещаемого газа. Одновременно безлопастная установка выполняет задачу промывателя дымовых газов, освобождая их от вредных органических примесей и углекислого газа перед выбросом в атмосферу. Промывочный раствор может дозировано подаваться в зону бункера, а также в поток газов, проходящих после дымососа. Общие энергозатраты тандем-системы должны быть на несколько порядков ниже, чем у типовых дымососов котлоагрегата или промышленной печи..

Заключение

Основными направлениями приложения патентных разработок были энергосбережение и улучшение жизнеобеспечения коммунальных и пожароопасных промышленных объектов, а также изыскание способов перемещения агрессивных и высокотемпературных потоков газа конструктивно упрощенными устройствами, использующими для этого собственные энергоресурсы, кинетическую энергию самих потоков и ветрового напора. Это позволяет шире использовать дешевую ветровую энергию в общеобменных вентиляционных системах и аварийной вентиляции. При этом энергия сжатого воздуха привлекается кратковременно, в период летних безветрий и в аварийных ситуациях, улучшая жизнеобеспечение объектов, доводя их до стадии предсказуемых.

Рассмотрены энергосберегающие схемы использования способа и устройств для отдельных объектов коммунального хозяйства и производственных пожаро-взрывоопасных объектов категорий А, Б и др.

Разработана схема дымососа-промывателя для снижения содержания углекислого газа в дымовых газах перед выбросом его в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СК-8. Строительный каталог. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Раздел 84. Оборудование для котельных установок. Дымососы и дутьевые вентиляторы. – М.: Госстрой СССР, ВНИИИС, 1989. – 126 с.
2. Патент РФ №2365819 от 27.08.09. Способ безлопастного усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах и устройство безлопастного усиления тяги в дымовых и вентиляционных каналах. Мусаев А.М.
3. Гришаев А.А. Некоторые вопросы физики циклонов и торнадо // Известия науки – анализ и гипотезы. URL: http://www.inauka.ru/analysis/article75478.
4. Самохвалов В.Н. Массодинамическая природа вихревых процессов. URL: http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8954html.
5. Арсеньев Г.В. Энергетические установки: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 336 с.
6. ГОСТ 21980-76. Форсунки центробежные газовые с тангенциальным вводом. Номенклатура основных параметров и методы расчета.
7. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование. Книга 2. – М: Стройиздат, 1992.
8. Инженерное оборудование зданий и сооружений / Под ред. проф. Табунщикова Ю.А. – М.: Высшая школа, 1989. – 238 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 69.057; 658.382.3
И.К. Садртдинов – директор
E-mail: tatkomen1@yandex.ru
Республиканское производственное объединение «ТАТКОММУНЭНЕРГО»
А.М. Мусаев – кандидат технических наук, доцент
Р.Г. Сафиуллин – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К РАСЧЕТУ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ И АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СТРУЙ

АННОТАЦИЯ
Рассматривается конструкция устройства для пылегазозолоулавливания из дымовых и агрессивных газов. В ее основе лежит использование вспомогательных высокоскоростных закрученных потоков, создаваемых тангенциальными гидродинамическими ускорителями (ГДУ). Приводятся результаты испытаний ГДУ, оснащенного насадкой Лаваля.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пылегазоочистка, дым, агрессивная среда, гидродинамический ускоритель.

I.K. Sadrtdinov – director
RPO «TATKOMMUNENERGO»
A.M. Musaev – candidate of technical sciences, associate professor
R.G. Safiullin – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

TO THE CALCULATION OF APPARATUS FOR THERMOKINETIC CLEANING OF FLUE AND CORROSIVE GASES BASED ON HIGH-SPEED AIR JETS

ABSTRACT
The design of the device for catching the dust from the flue and corrosive gases is considered. It’s work is based on the use of auxiliary high swirling flows generated by tangential hydrodynamic accelerators (HDA). The results of tests of the HDA, equipped with a Laval nozzle, are given.
KEYWORDS: dust and gas cleaning, smoke, aggressive environment, hydrodynamic accelerator.

При эксплуатации топливоиспользующих и других технологических установок правильный выбор пылегазозолоуловителей становится большой проблемой. Чем выше требуемая степень очистки высокотемпературных газов от пыли и золы, тем большими оказываются капитальные затраты на сооружение установок. Чтобы добиться требуемых результатов, часто ориентируются на использование нескольких ступеней очистки, на каждой из которых применяют инерционные аппараты «сухой» и «мокрой» очистки – фильтры и циклоны [1]. Основным недостатком указанных устройств является невозможность очистки при высокой температуре и повышенной влажности газов. Они также не позволяют решать вопросы очистки от химических примесей.

Широкое применение для очистки дымовых и агрессивных газов может найти термокинетический метод и аппарат на его основе – пылегазозолоуловитель [2]. К прототипам изобретения можно отнести известную конструкцию вихревого пылеуловителя с вспомогательным закрученным потоком, который формируется в объеме аппарата при подаче струй сжатого воздуха через сопла, расположенные тангенциально вдоль верхней части цилиндрического корпуса по нисходящим спиралям под углом наклона 30° навстречу к очищаемому газу [3].

Основной недостаток известной конструкции состоит в значительном аэродинамическом сопротивлении, сравнимом с затратами в циклонных аппаратах. Это связано с тем, что в объеме устройства создаются два встречно направленных потока, взаимодействующих друг с другом. Кроме того, закручивание центрального потока осуществляется с помощью завихрителя, на котором теряется существенная часть давления, развиваемого дымососом или вентилятором. Недостатками

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

прототипа можно считать небольшую производительность, затруднительность проведения пылеулавливания при повышенной влажности и агрессивности газов.

Наиболее близкими прототипами являются циклонные прокалочные камеры [4], в которых реализуется механизм гидродинамического теплообмена между высокотемпературными вихревыми потоками газа и взвешенной дисперсной средой.

Отличительной особенностью предлагаемого в [2] аппарата является способ введения в высокотемпературный поток скоростной гидродинамической струи сжатого воздуха спутно потоку очищаемого газа. При заметном уменьшении аэродинамических потерь такое решение позволяет значительно увеличить центробежные и инерционные силы в аппарате и, соответственно, эффективность очистки от пылевых частиц. Тонкодисперсное распыление воды в струе сжатого воздуха позволяет в широком диапазоне регулировать процессы конденсации в очищаемом газе, а также смещать точку росы потока за счет изменения дисперсности водяного тумана. Для увеличения эффекта нейтрализации газообразных примесей в струю сжатого воздуха предлагается эжектировать дозированное количество химических растворов.

На рис. 1 показана схема устройства [2] для осуществления термокинетического способа пылезолоулавливания. Устройство включает цилиндрический корпус 1 в виде горизонтальной пылеосадительной камеры, входной 2 и выходной 3 патрубки для подачи в камеру и удаления из камеры дымовых и агрессивных газов, бункеры 4 для сбора пыли, сепаратор 5, безнапорную емкость 6 для химических реагентов.

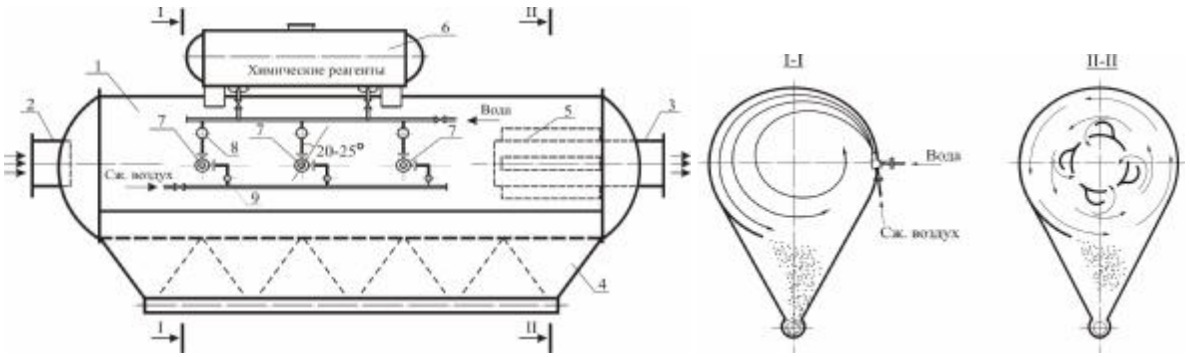


Рис. 1. Схема аппарата для термокинетической очистки дымовых и агрессивных газов

Разделение сред и очистка в аппарате осуществляются следующим образом: высокотемпературные дымовые газы поступают по патрубку в пылеосадительную цилиндрическую камеру большого диаметра, при этом поток резко теряет скорость и из потока выпадают крупные частицы пыли в бункеры первого ряда. Горизонтальный поток очищаемых газов со скоростью 0,8ч2,5 м/с перемещается в зону действия гидродинамических ускорителей, где высокоскоростные струи сжатого воздуха внедряются в дымовые газы тангенциально под углом 20° к вертикальной плоскости (см. сечение I-I). Суммарный поток приобретает поступательно-вращательное движение. При этом создается дополнительная тяга в корпусе цилиндрической камеры и увеличивается центробежная сила, воздействующая на пылевые частицы (см. сечение II-II). Значительная разность температур смешивающихся потоков и дополнительное диспергирование воды способствует конденсации и изменению точки росы очищаемого газа, утяжеляя мелкие частицы пыли.

Основными отличительными элементами аппарата являются гидродинамические ускорители (ГДУ) 7, установленные тангенциально к корпусу устройства и имеющие регуляторы расхода воды 8 и сжатого воздуха 9 (рис. 1). Введение через ГДУ высокоскоростных струй сжатого воздуха спутно под углом 20-25° по ходу движения очищаемого газа создает дополнительную тягу в объеме аппарата.

Конструкция ГДУ показана на рис. 2. Устройство состоит из корпуса 10 и двух патрубков – осевого 11 для сжатого воздуха и тангенциального 12 для эжектируемой воды или раствора. Выходное отверстие ускорителя выполнено в форме сопла Лаваля 13 с фланцем 14. Сжатый воздух, содержащий водную смесь, проходя по каналу сопла, адиабатически ускоряется в нем до сверхзвуковых скоростей с образованием водяного тумана.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

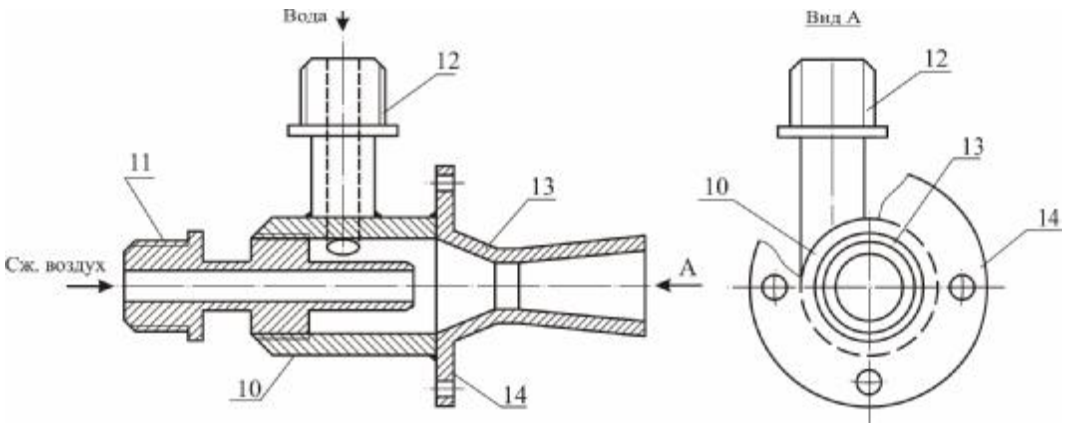


Рис. 2. Конструкция гидродинамического ускорителя

Стендовые испытания, проведенные в специально оборудованных камерах и в открытой атмосфере, показали, что за счет изменения давления сжатого воздуха можно в широких пределах регулировать как осевую скорость истечения струи, так и дисперсность распыливаемого раствора. На рис. 3 показана работа ГДУ при давлении сжатого воздуха 0.5ч0.6 МПа. В зависимости от размеров выходного сечения сопла Лаваля устанавливается определенный угол раскрытия факела α:

- при давлении воздуха 0.3 МПа, воды 0.2 МПа – 23°;
- при давлении воздуха 0.4 МПа, воды 0.3 МПа – 21°.

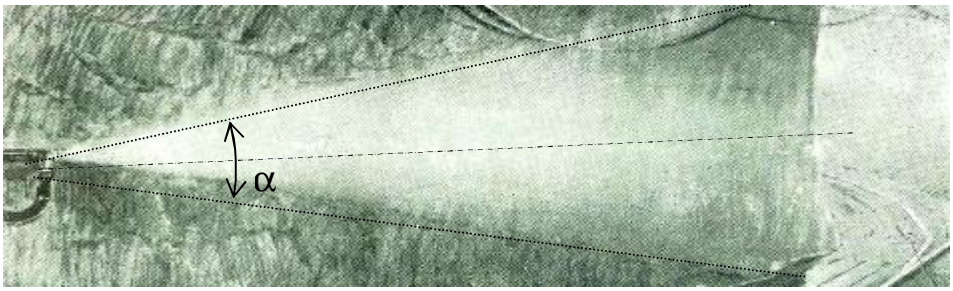


Рис. 3. Гидродинамическая струя в открытой атмосфере

Расход сжатого воздуха при давлении 0.2ч0.6 МПа составил 0.8ч3.0 $м^3$/мин., соответственно; расход воды в зависимости от давления на линии подачи колебался в пределах 4.0ч1.0 л/мин. Скорость водо-воздушной смеси на выходе из насадки в указанном диапазоне давлений сжатого воздуха составляла 120ч740 м/с.

Для конструктивного расчет ГДУ при использовании в аппарате термокинетической очистки можно воспользоваться известными зависимостями [5], которые позволяют определять геометрические параметры сопла ускорителя, скорость истечения и расход сжатого воздуха.

Выводы

В работе представлены конструкция и характеристики работы устройства [2], предлагаемого для термокинетической очистки дымовых и агрессивных газов. Высокоскоростные потоки сжатого воздуха, поступающие тангенциально в цилиндрический корпус устройства, создают вихревые потоки, усиливающие тягу и снижающие общие потери давления в аппарате. Широкий диапазон регулирования дисперсности подаваемых в устройство растворов, определяемый в зависимости от пылегазовых загрязнений потока, обеспечивается за счет использования дозаторов и ГДУ с соплом Лаваля.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; Под общ. ред. А.А. Русанова. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
2. Устройство для пылегазозолоулавливания из дымовых и агрессивных газов. Патент РФ 2372972. Мусаев А.М., Зиганшин М.Г., Сафиуллин Р.Г. – Б. И., 2008.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 62 с.
4. Давыдов В.И., Гамрекали М.Н., Добрыгин П.Г. Термические процессы и аппараты для получения окислов и радиоактивных металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 208 с.
5. Иванов Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. – М.: Гос. научно-техническое издат. нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – 360 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 541.183
Р.Г. Сафиуллин – кандидат технических наук, доцент
E-mail: safiullin_rinat@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К РАСЧЕТУ УВЛАЖНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ДИСКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ С ЗУБЧАТОЙ ПЕРИФЕРИЕЙ. ЧАСТЬ 1. МОДЕЛЬ КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Рассматривается математическая модель формирования и отрыва капли с каплеобразующих элементов в поле центробежной силы в условиях медленного (квазистатического) подвода жидкости. Результаты численного расчета отрывных объемов капель могут быть использованы при определении дисперсности распыла зубчатых дисков, являющихся основным элементом местных и центральных аппаратов для увлажнения воздуха.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вращающийся каплеобразующий элемент, модель каплеобразования, отрывные объемы капель.

R.G. Safiullin – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

TO ACCOUNT OF AIR HUMIDIFIERS BASED ON DISK ATOMIZERS WITH TEETH PERIPHERY. PART 1. MODEL OF DROP FORMATION AND DETACHMENT

ABSTRACT

A mathematical model of the drop formation and detachment from wetted forming elements in the field of centrifugal force in a slow (quasistatic) supply of liquid is considered. The results of numerical calculation of separated drop’s volumes can be used in determining the dispersion of disk atomizers with teeth periphery, which are the main elements of the local and central apparatus for humidifying the air.

KEYWORDS: rotary forming element, drop formation model, separated drop volume**.**

При диспергировании воды с помощью вращающихся дисковых распылителей с зубчатой периферией удается получать капли практически одного размера, что показывают результаты исследований характеристик распыла у подобных устройств [1, 2]. Формирование и отрыв капель с зубцов, которые могут иметь коническую, цилиндрическую, а также сферическую форму, происходит в «капельном режиме», почти без образования боле мелких сателлитов. Так, по данным [1], их суммарный объем составлял лишь ~1ч1.5 % от объема распыленной жидкости, в то время как при распыливании другими типами устройств содержание капель-спутников достигает по объему 30 % и более.

Несмотря на указанные достоинства, дисковые распылители с зубчатой периферией пока не получили широкого применения как в распылительной технике в целом, так и в увлажнительных аппаратах систем вентиляции и кондиционирования воздуха. На сегодняшний день ощущается недостаточность информации о закономерностях работы зубчатых дисков, в особенности – о характеристиках «капельного» режима диспергирования. Остаются малоизученными условия для устойчивой реализации монодисперсного распыления, отсутствуют данные о зависимости размеров капель от геометрии зубцов, диаметра и скорости вращения распылителя.

Определить размеры капель в распыле зубчатых дисков позволяет расчет профилей капель, формирующихся на поверхности зубцов. Такой профиль может быть получен из решения дифференциального уравнения гидростатического равновесия капли (уравнение Юнга-Лапласа) в поле центробежной силы, справедливого при условии квазистатического (очень медленного) подвода жидкости к поверхности каплеобразующего элемента (зубца). Известные результаты численных расчетов равновесных профилей, полученные для случая формирования капель на кромке вращающегося капилляра, приведены в работах [3-5]. Однако модель роста и отрыва капель со

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

смачиваемой поверхности вращающихся каплеобразующих элементов в виде конуса, цилиндра или сферы пока еще не рассматривалась.

Для построения модели каплеобразования на зубьях дисковых распылителей используем следующие допущения:

- деформация капель под воздействием аэродинамического сопротивления не учитывается, решается осесимметричная задача;
- сила тяжести пренебрежимо мала по сравнению с центробежной силой;
- при полном смачивании обеспечивается медленный (квазистатический) подвод жидкости к поверхности каплеобразующего элемента.

Расчетные схемы капель на смоченных поверхностях вращающихся каплеобразующих элементов, расположенных на периферии зубчатых дисков, представлены на рис. 1. Получим основное дифференциальное уравнение гидростатического равновесия для рассматриваемых схем.

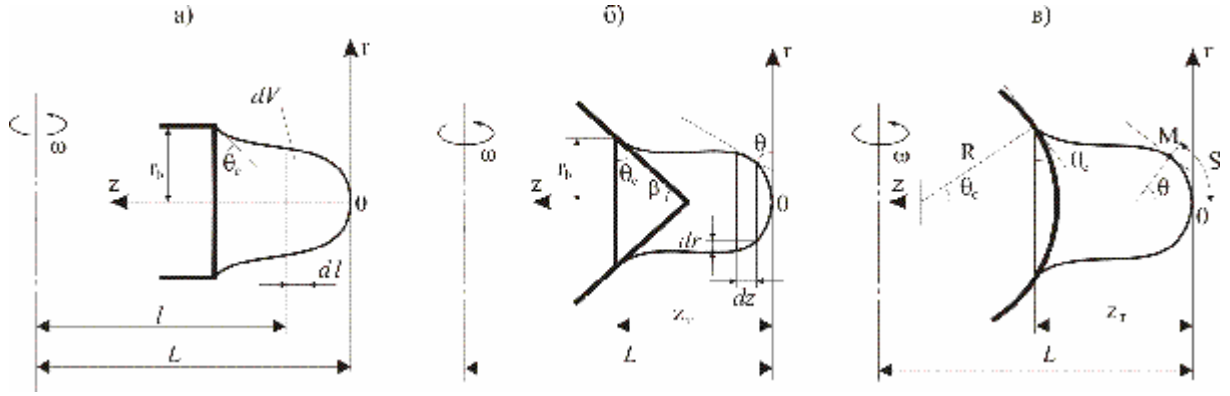


Рис. 1. Расчетные схемы капель на вращающихся каплеобразующих элементах цилиндрической (а), конической (б) и сферической (в) форм

Центробежная сила dF, действующая на элементарный объем жидкости $dV = \pi r^2 dl$, удаленный на расстояние $z = l$ от оси вращения, создает давление dp на поперечную площадку $f = \pi r^2$ (см. рис. 1 *а*, *б*)

$$dp = \frac{dF}{f} = \frac{\rho l \omega^2 \pi r^2 dl}{\pi r^2} = \rho \omega^2 l dl \cdot \qquad (1)$$

После интегрирования уравнения (1) с учетом граничного условия (z=0, p=p(0)) получим выражение для распределения давления во вращающейся капле

$$p(z) = p(0) - \frac{\rho\omega^2}{2}[L^2 - (L-z)^2], \qquad (2)$$

где $p(0)$ – давление в вершине капли (r= 0, z= 0).

Согласно уравнению Лапласа, давление, оказываемое со стороны газовой фазы на произвольную точку M поверхности жидкой капли на расстоянии $z = L$ от оси вращения диска (рис. 1 *в*), пропорционально средней кривизне поверхности раздела на границе с газовой фазой:

$$p(z) = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны поверхности капли в точке M, σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Для точки в вершине капли, где главные радиусы одинаковы, имеем

$$p(0) = \frac{2\sigma}{B}, \qquad (3)$$

B – радиус кривизны в вершине капли.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Тогда уравнение равновесия капли, сформированной на вращающейся поверхности каплеобразующего элемента, примет вид:

$$\sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)=\frac{2\sigma}{B}-\frac{\rho\omega^2}{2}\left[L^2-(L-z)^2\right]. \qquad (4)$$

Из (4) видно, что распределение давления во вращающейся капле носит нелинейный характер. Поскольку радиусы кривизны поверхности определяются формулами

$$R_1=\frac{\left[1+\left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2z}{dr^2}}; \quad R_2=\frac{r\left[1+\left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right]^{1/2}}{\frac{dz}{dr}}, \qquad (5)$$

то уравнение (4) приводится к виду

$$\frac{\frac{d^2z}{dr^2}}{\left[1+\left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right]^{3/2}}+\frac{\frac{dz}{dr}}{r\left[1+\left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right]^{1/2}}=\frac{2}{B}-\frac{\rho\omega^2}{2\sigma}\left[L^2-(L-z)^2\right]. \qquad (6)$$

Интегрирование (6) дает форму равновесной межфазовой поверхности газожидкостной системы в поле центробежной силы.

Для удобства интегрирования главные радиусы кривизны представим через тригонометрические функции угла θ между осью z и нормалью к границе раздела в произвольной точке M (рис. 1 *в*)

$$R_1=\frac{dr}{d\sin\theta}=\frac{ds}{d\theta}; \qquad R_2=\frac{r}{\sin\theta}, \qquad (7)$$

где s – длина дуги контура капли, измеряемая от ее вершины.

Тогда условие равновесия капли на каплеобразующем элементе запишется в виде

$$\frac{d\theta}{ds}+\frac{\sin\theta}{r}=\frac{2}{B}-\frac{\rho\omega^2}{2\sigma}\left[L^2-(L-z)^2\right]. \qquad (8)$$

Совместно с очевидными геометрическими соотношениями

$$\frac{dr}{ds}=\cos\theta \text{ и } \frac{dz}{ds}=\sin\theta \qquad (9)$$

уравнение (8) описывает осесимметричный профиль межфазовой поверхности "жидкость-газ" и может быть решено численно с использованием следующих граничных условий

$$r=s=V=q=0 \quad \text{при } z=0; \qquad (10)$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{а) } r=r_b=R \\ \text{б) } q=q_c=90^\circ-b \\ \text{в) } r_b/\sin q_c=R \end{array}\right\} \text{при } z=z_T; \qquad (11)$$

где z_T – «высота» капель в месте контакта с каплеобразующим элементом; r_b – ширина основания капли; q_c – угол контакта капли со смоченной поверхностью элемента; V – объем капли в пределах z и z =0.

Уравнение (8) приводится к безразмерному виду путем деления всех линейных величин на параметр $c=\sqrt[3]{2s/rw^2}$, имеющий размерность длины

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\frac{d\theta}{d\bar{s}} = \frac{2}{\bar{B}} - \frac{\sin\theta}{\bar{r}} - [\,\bar{L}^2 - (\bar{L} - \bar{z})^2\,]\,. \qquad (12)$$

Уравнение (12) совместно с (9)ч(11) было решено численно с использованием метода Рунге-Кутта четвертого порядка. При варьировании значений $\bar{B}$ определялись координаты профиля капель (*r*, *z*, *q*). Поскольку в вершине капли (точка на оси симметрии с координатами $\bar{r} = 0$ и $\bar{z} = 0$) имеется особенность, приводящая к неопределенности, решение в окрестности начальной точки разлагалось в степенные ряды по длине дуги $\bar{s}$.

Типичный вид кривых, получаемых в результате численного решения уравнения (12) при различных значениях радиуса кривизны в вершине капли $\bar{B}$, представлены на рис. 2. За исключением начальных участков, рассчитанные профили имеют такую форму, которая физически не реализуема как устойчивая форма поверхности раздела фаз (рис. 3). За критерий устойчивости физических капель было принято утверждение Питтца [6], что реальная устойчивая висящая капля может иметь лишь одну точку перегиба на меридианальной кривой (в этой точке $dq/d\bar{s} = 0$).

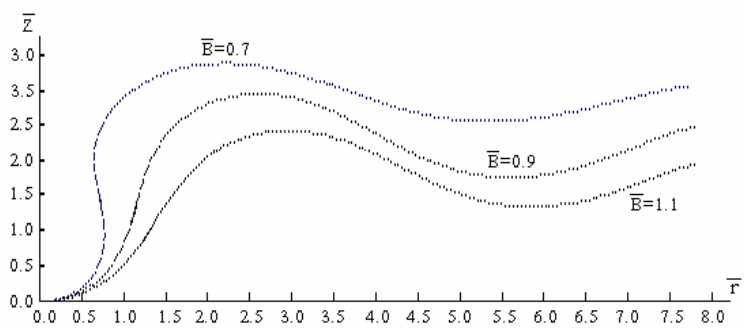


Рис. 2. Профили межфазовой поверхности, полученные при интегрировании уравнения (12)

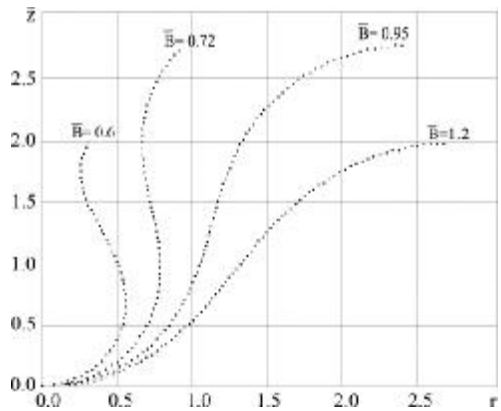


Рис. 3. Расчетные профили устойчивых висящих капель

Объемы устойчивых капель, ограниченные расчетными профилями, определялись из выражения

$$\frac{d\bar{V}}{d\bar{s}} = \pi\bar{r}^2 \sin\theta, \text{ где } \bar{V} = V/c^3\,. \qquad (13)$$

Необходимо отметить, что объем самой капли не соответствует объему, ограниченному профилем и контактной линией на поверхности каплеобразующего элемента, имеющего форму конуса или сферы. Так, объем капли на конусе определялся из выражения

$$\bar{V}_к = \bar{V}_T - \bar{V}_{кон}\,, \qquad (14)$$

где $\bar{V}_T$ – общий объем, ограниченный профилем капли с шириной основания $2\bar{r}_b$ и углом контакта $q_c = 90° - b$; $\bar{V}_{кон}$ – объем конуса в границах профиля капли

$$\bar{V}_{кон} = \pi\bar{r}_b^3 / 3tg\beta\,. \qquad (15)$$

Объем капли, формирующейся на сферическом элементе, определялся из выражения:

$$\bar{V}_к = \bar{V}_T - \bar{V}_{сф}\,, \qquad (16)$$

где $\bar{V}_T$ – общий объем, ограниченный профилем капли, имеющим контактный угол q_c и ширину основания $\bar{r}_b = \bar{R}\sin q_c$; $\bar{V}_{сф}$ – объем сферического сегмента с основанием $\bar{r}_b = \bar{R}\sin q_c$ и высотой $\bar{h} = \bar{R} - \bar{R}\cos q_c$,

$$\bar{V}_{\_тм} = \pi\bar{h}^2(3\bar{R} - \bar{h})/3\,. \qquad (17)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рассчитанные значения максимальных объемов устойчивых капель $\overline{V}_T$ и $\overline{V}_к$ на вращающихся каплеобразователях цилиндрической, конической и сферической форм поверхности для различных $\overline{L}$ представлены на рис. 4. При построении кривых принималось, что длина капель $\overline{z}_T$ много меньше радиуса вращения $\overline{L}$. Параметр $\overline{B}$ при расчетах варьировался от 0.05 до 0.3 с шагом 0.002 при значениях $\overline{L}$ =10, 20, 30 и 40. На рис. 5 показаны значения параметров $\overline{B}$, при которых были получены максимальные объемы устойчивых капель.

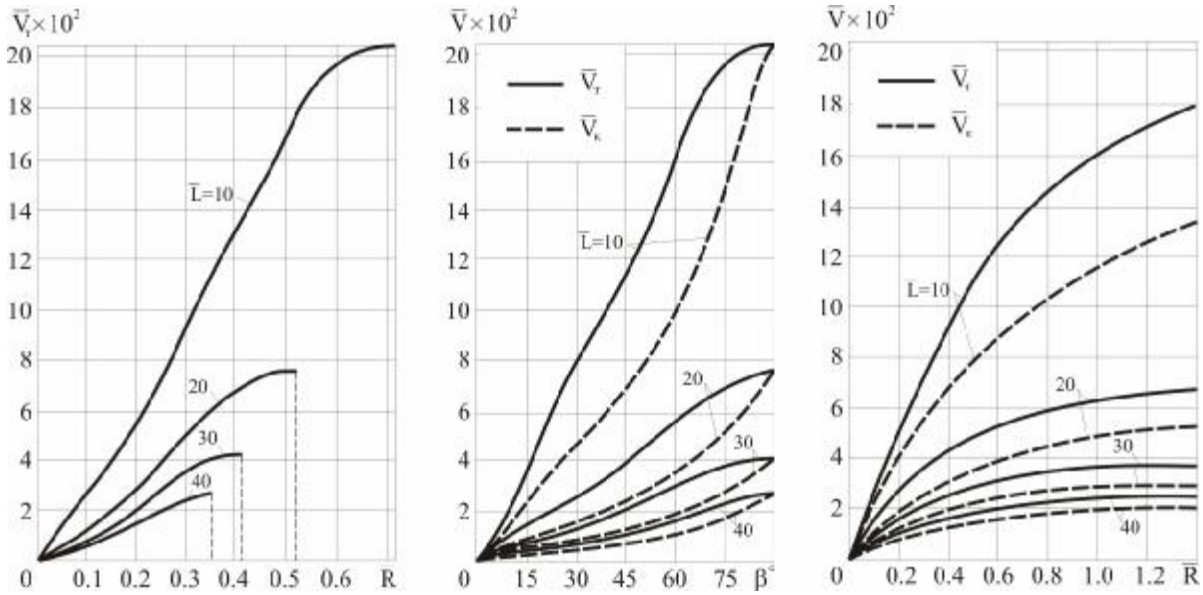


Рис. 4. Максимальные объемы устойчивых капель на вращающихся каплеобразователях: цилиндре (а), конусе (б) и сфере (в)

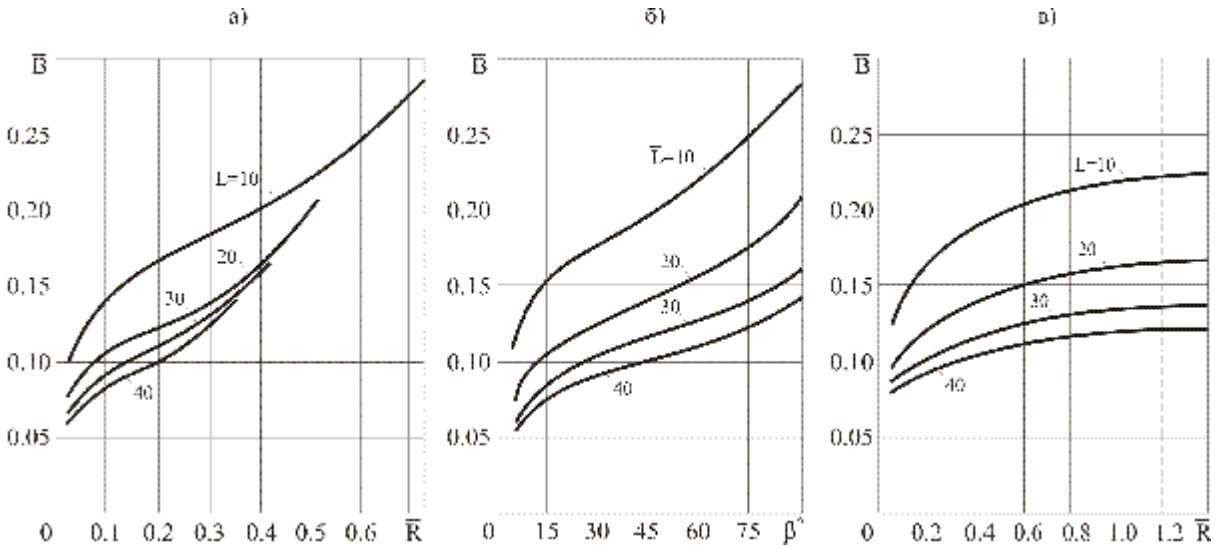


Рис. 5. Значения параметра $\overline{B}$, при которых получены максимальные объемы устойчивых капель на цилиндре (а), конусе (б) и сфере (в)

В первом приближении полученные объемы можно использовать для определения размеров капель, образующихся при отрыве от смачиваемой поверхности вращающихся каплеобразователей при нарушении гидростатического равновесия. В этом случае максимальный объем висящей капли необходимо заменить на объем эквивалентной ему сферы (оторвавшейся капли) диаметром $d_к$ из условия $V_к = \frac{\pi}{6} d_к^3$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Однако, действительные объемы оторвавшихся капель всегда меньше предотрывных объемов. В фазе отрыва капля разделяется на «основную» каплю и остаточный мениск жидкости. Из перешейка между ними образуются одна или несколько более мелких капель-сателлитов, сопровождающих отделившуюся «основную» каплю. В этой фазе на отрыв оказывают влияние и особенности геометрии каплеобразующих элементов. Наличие части конусной или сферической поверхности внутри отделяющейся капли может вносить дополнительные возмущения при быстром изменении ее формы. При решении задач по распыливанию с помощью зубчатых дисков важно определить отрывные размеры капель, что подразумевает необходимость дополнительного исследования неустойчивой стадии каплеобразования – стадии отрыва.

Предварительно же оценить размеры будущей отрывающейся капли можно из предположения, что потеря устойчивости и последующий разрыв капли происходят по плоскости $\bar{z} = \bar{z}^o$ («плоскости отрыва»), где равны между собой сила поверхностного натяжения и сила тяжести висящей капли [7].

Для определения положения «плоскости отрыва» $\bar{z} = \bar{z}^o$ и отрывных объемов $\bar{V}_к^o$ запишем уравнение баланса сил (в проекциях на ось *z*), действующих на вращающуюся каплю. Это уравнение получается при непосредственном интегрировании (12)

$$2\bar{\pi}\bar{r}\,sin\,\theta = \bar{V}\bar{L}_c + \pi\bar{r}^2\left\{\frac{2}{\bar{B}} - [\,\bar{L}^2 - (\,\bar{L} - \bar{z}\,)^2\,]\right\}, \qquad (18)$$

где $2\bar{p}\bar{r}\sin q$ – проекция силы поверхностного натяжения; $\bar{V}\cdot\bar{L}_c$ – безразмерная центробежная сила, приложенная к центру массы капли; $\pi\bar{r}^2\left\{\frac{2}{\bar{B}} - [\,\bar{L}^2 - (\,\bar{L} - \bar{z}\,)^2\,]\right\}$ – сила избыточного (Лапласовского) давления внутри вращающейся капли, обусловленная искривленностью ее поверхности.

Совместное численное решение уравнений (18) и (9)ч(11) позволяет определить координату, где давление Лапласа равно нулю и, соответственно, проходит «плоскость отрыва» капли (рис. 6). Часть жидкости ниже этой плоскости отделяется в виде «основной» капли (имеющей отрывной объем), а верхняя «остаточная» часть жидкого мениска служит основой образования и роста следующей капли.

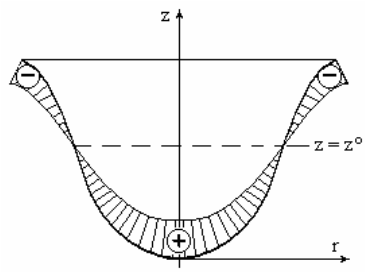


Рис. 6. Эпюра давлений в капле предотрывного объема

Рассчитанные значения отрывных объемов для капель, отделяющихся от каплеобразователей рассмотренных геометрий, показаны на рис. 7.

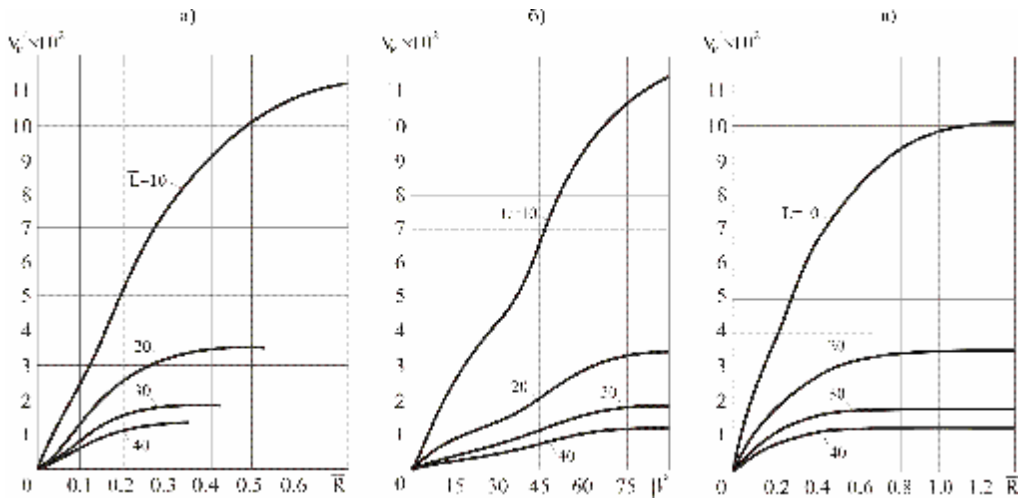


Рис. 7. Объемы «основных» капель, отделяющихся от вращающихся смачиваемых каплеобразующих элементов в форме цилиндра (а), конуса (б) и сферы (в)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из рис. 7 видно, что отрывные объемы капель на конусах с углом β≤40° мало отличаются от максимальных объемов в фазе равновесия. Это означает, что размеры перешейка при отрыве капель с таких конусов очень малы. Так как перешеек является основным источником образования мелких капель-спутников, то для монодисперсного распыливания с помощью дисков предпочтительным является использование на их периферии конусных элементов с малым углом раствора. В каплях, формирующихся на таком конусе, плоскость нулевого давления пересекает его поверхность, и, соответственно, разрыв жидкости происходит не в газовой фазе, а на каплеобразующем элементе, что не приводит к появлению капель-спутников.

Расчетные кривые для отрывных объемов капель аппроксимируются зависимостями:

– для конических элементов – $\overline{V}_к^{\,0} = b^\circ / \left(0{,}00282 b \overline{L}^{2{,}68} + 130{,}5\overline{L} - 688{,}8\right)$; (19)

– для сферических элементов – $\overline{V}_к^{\,0} = \overline{R} / \left(0{,}132 \overline{R}\,\overline{L}^{1{,}685} + 0{,}33\overline{L} + 0{,}5\right)$. (20)

Полученные зависимости могут быть использованы при расчете размеров капель, образующихся при распыливании зубчатыми дисками в увлажнительных аппаратах систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунский В.Ф., Никитин Н.В. Капание жидкости с острия // ПМТФ, 1980, № 1. – С. 49-55.
2. Никитин Н.В., Богданова А.В. Монодисперсные опрыскиватели для вегетационных и полевых опытов // Сб.: Аэрозоли в защите растений / Всесоюз. акад. с.-х. наук. – М.: Колос, 1982. – С.158-166.
3. Boucher E.A. Centrifugation of Porous Solids and Compacts Containing Imbibed or capillary-Condensed Fluid // J. Colloid Interface Sci., Vol. 120, No. 1, 1987. – P. 289-291.
4. Boucher E.A. Phenomenological and Thermodynamic Quantities for the Centrifugation of a Model Capillary Tube with Liquid Drop Attached, and Some Implications for Porous Solids and Compacts // J. Colloid Interface Sci., Vol. 129, No. 2, 1989. – P. 414-427.
5. Boadi D.K., Marmur A. Drop Formation and Detachment from Rotating Capillaries // J. Colloid Interface Sci., Vol. 140, No.2, 1990. – P. 507-516.
6. Baby S.R. Analysis of Drop Formation at Conical Tips. 1. Theory // Journ. Coll. Int. Sci., 1987, Vol. 116, № 2. – P. 350-358.
7. Сафиуллин Р.Г., Колесник А.А., Посохин В.Н., Николаев Н.А. Определение размеров капель, отделяющихся от смачиваемых поверхностей // Изв. вузов. Химия и химическая технол., 1998, т. 41, вып. 3. – С. 72-77.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 541.183
Р.Г. Сафиуллин – кандидат технических наук, доцент
E-mail: safiullin_rinat@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

К РАСЧЕТУ УВЛАЖНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ДИСКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ С ЗУБЧАТОЙ ПЕРИФЕРИЕЙ. ЧАСТЬ 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ РАСПЫЛА

АННОТАЦИЯ

Выполнены эксперименты по распыливанию дистиллированной воды с помощью образцов вращающихся зубчатых дисков. Спектры размеров капель определялись при различных окружных скоростях и расходах воды. В проведенных опытах использовался метод улавливания капель в иммерсионную среду с последующим фотографированием их под микроскопом. Анализ полученных кривых дисперсности распыла показывает хорошее согласие с расчетными значениями, полученными на основе математической модели каплеобразования.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вращающийся зубчатый диск, дисперсность распыла.

R.G. Safiullin – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

TO ACCOUNT OF AIR HUMIDIFIERS BASED ON DISK ATOMIZERS WITH TEETH PERIPHERY. PART 2. EXPERIMENTAL DEFINITION OF THE DISPERSION SPECTRUM

ABSTRACT

The experiments on spraying of distilled water by the samples of rotating disks with teeth periphery are executed. The droplet's size spectrum is defined at various district speeds and flow rates of water. The method of catching the droplets in immersion liquid with the subsequent photographing them under a microscope was used. The analysis of the dispersion curves shows the good consent with calculated values received on the basis of mathematical droplet formation model.
KEYWORDS: rotary disk atomizer with teeth periphery, dispersion of droplets.

Эксперименты по определению дисперсности распыления воды проводились с гладкими металлическими дисками внешним диаметром d_p = 22 и 80 мм. На периферии дисков равномерно по окружности были выполнены 72 и 300 острых зубцов с углом $2b$ = 30° и 15°, соответственно. Перед проведением каждой серии опытов диски прокаливались на открытом огне докрасна для того, чтобы обеспечить полное их смачивание водой.

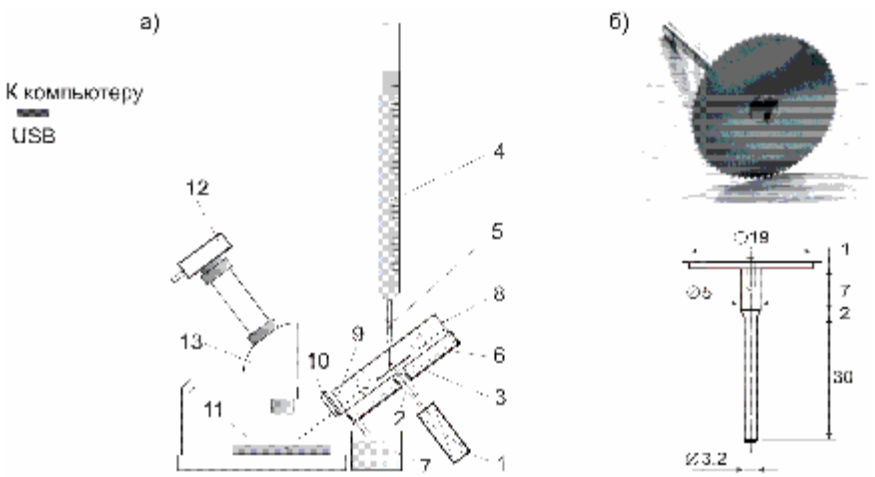


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и опытного образца дискового распылителя

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Опытная установка показана на рис. 1. Она включала в себя электропривод 1 с возможностью плавного изменения числа оборотов ротора n от 1000 до 5000 об./мин. Распылитель 3 жестко устанавливался на подложку (рис. 1 *б*) и крепился на валу двигателя 1 с помощью цанги 2. Дистиллированная вода подавалась в распылитель из питающей мерной емкости 4 объемом 100 мл. Расход воды в экспериментах изменялся от 0.2 до 1.0 л/ч.

Регулирование расхода осуществлялось вентилем 5. Распыленная вода через приемный бункер 6 направлялась в сборную емкость 7. Выборка требуемой совокупности капель для регистрации их дисперсного состава выполнялась с помощью отборного устройства 8 через окно 9. Время экспозиции потока капель через отборное окно устанавливалось с помощью ирисовой диафрагмы 10 (рис. 2).

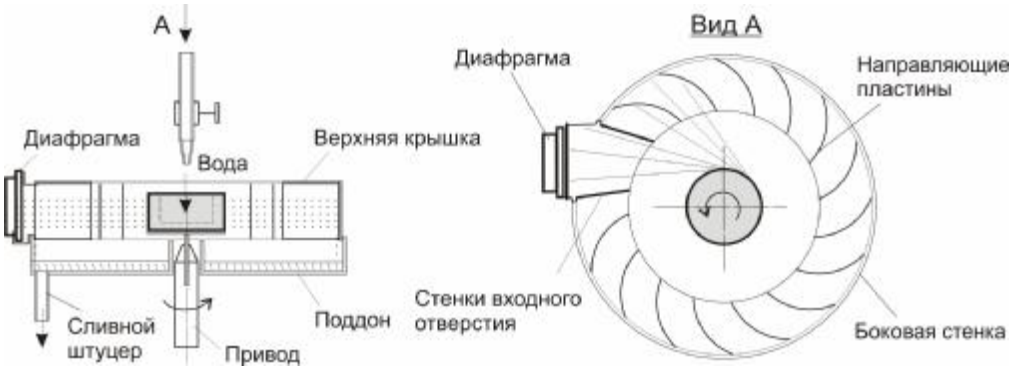


Рис. 2. Схема пробоотборного устройства

Капли воды улавливались в кювету 11 с иммерсионной средой, имеющей такую же плотность, как и вода. Здесь капли приобретали сферическую форму и фотографировались в проходящем свете с помощью веб-камеры 12 (800×600), установленной на окуляре микроскопа 13 (БСМ-1) с 56-кратным увеличением. Изображение от камеры 12 в режиме реального времени передавалось напрямую через USB-вход компьютера, и далее – на экран монитора.

На рис. 3 представлены характерные фотоснимки уловленных в иммерсионную среду капель, образующихся при распыливании воды зубчатым диском d_p=22 мм. Снимки получены при постоянной окружной скорости $v_p = \frac{p\,nd}{60} = 2.8$ м/с и разных расходах жидкости Q. Под фотоснимками приведены соответствующие им дисперсные характеристики распылов в виде гистограмм распределения капель по фракциям. Количество фракций и диапазон диаметров капель в них определялись автоматически с помощью программы обработки растровых изображений «ImageJ» [1].

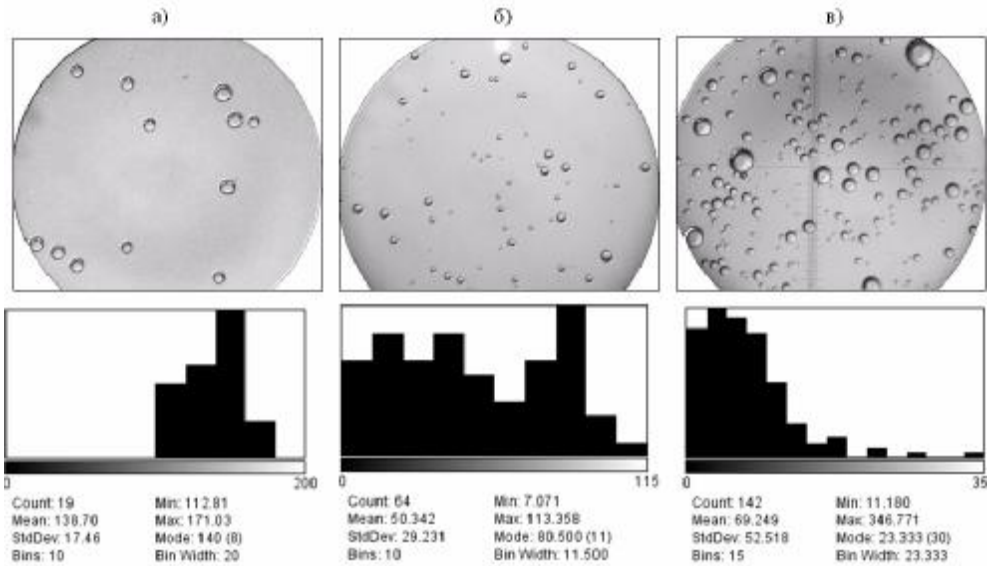


Рис. 3. Фотоснимки уловленных капель и гистограммы дисперсности распыла зубчатого диска d_p= 22 мм при скорости вращения v_p=2.8 м/с: а – Q=0.8 см^3/с; б – Q=1.45 см^3/с; в – Q=3.2 см^3/с

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Анализ результатов экспериментов показывает, что при небольших расходах (до 0,8÷1,0 см^3/с) в распыле зубчатых дисков образуются достаточно крупные капли, размер которых определяется геометрией зубцов. У диска диаметром 22 мм ($2b$ =30°) средний диаметр капель в распыле $d_{к,ср}$ составил ≈138 мкм. У диска диаметром 80 мм ($2b$ =15°) капли более мелкие – $d_{к,ср}$ ≈115 мкм. В этом режиме работы распыл характеризуется очень высокой степенью монодисперсности. Отношение максимального диаметра капель к минимальному для каждого диска составило $\frac{d_к^{max}}{d_к^{min}} < 1.6$ (рис. 3 *а*).

При увеличении расхода до 1.4ч2.0 см^3/с (рис. 3 *б*) средний размер капель уменьшается, для обоих образцов он составил ≈ 50ч60 мкм. При этом значительно возрастает степень полидисперсности распыла, достигая $\frac{d_к^{max}}{d_к^{min}}$ >15ч16.

При дальнейшем увеличении расхода (более 2.0ч2.5 см^3/с) средний диаметр капель вновь начинает расти, а дисперсность распыла описывается статистическим законом распределения случайных величин Розина-Раммлера (рис. 3 *в*).

Полученные результаты совпадают с известными данными экспериментальных исследований механизма распыления вращающимися зубчатыми дисками [2, 3]. Как видно из рис. 4, каплеобразование на зубчатой периферии, по существу, является комбинацией трех процессов – непосредственного формирования и отрыва одиночных капель с каждого зубца (рис. 4 *а*), распада на капли ламинарных струй жидкости, вытягивающихся с каждого зубца (рис. 4 *б*), спонтанного (нерегулярного) распада турбулентных струй, образующихся при слиянии жидкости на нескольких зубцах (рис. 4 *в*).

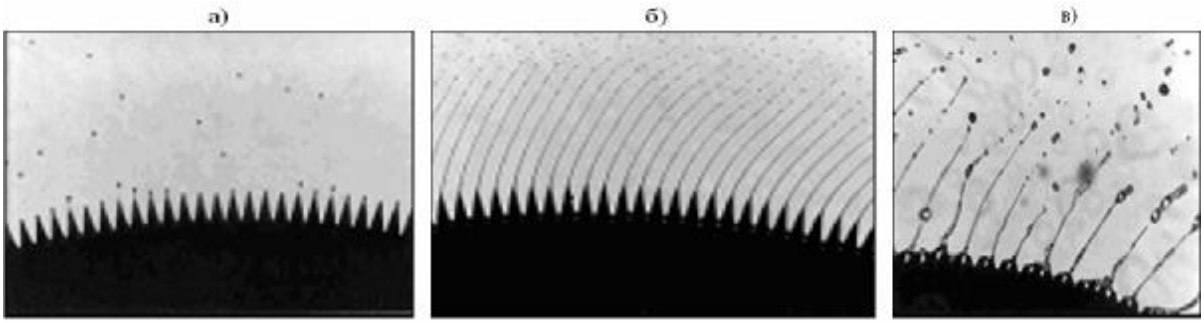


Рис. 4. Режимы распыливания зубчатым диском по данным [2]:
а – капельный режим; б – режим струеобразования на зубце; в – режим слияния струй

Непосредственное формирование капель на зубцах наблюдается как при малых расходах, так и при низких скоростях вращения диска. Зубцы на периферии действуют как каплеобразователи – на их поверхности растут и отрываются капли. Одноразмерность зубцов и одинаковые условия для формирования на них капель определяют получение очень узкого спектра капель в распыле зубчатых дисков в «капельном» режиме работы. При этом важным является обеспечение равномерного растекания пленки жидкости по поверхности диска.

Если скорость вращения диска увеличивается или возрастает подача жидкости на его поверхность, то на зубцах начинают формироваться тонкие струи, которые затем распадаются на капли под действием нерегулярных возмущений со стороны газовой фазы. При вытягивании струй их диаметр значительно уменьшается и в месте их распада на капли определяется не столько геометрией зубцов, сколько действующей центробежной силой и капиллярными свойствами жидкости. Струи распадаются на так называемые «вторичные» капли разных размеров, среди которых мелкие капли-спутники составляют до 30 % по объему. Поэтому средний размер капель в «струйном» режиме меньше, чем в «капельном», а нерегулярность распада приводит к значительному расширению спектра капель в распыле.

С дальнейшим увеличением расхода происходит слияние струй на поверхности нескольких зубцов, при этом диметр струй увеличивается, их радиальная скорость возрастает. Турбулизация струй приводит к хаотичному их распаду в газовой фазе на капли с высокой степенью полидисперсности. При некотором критическом расходе с поверхность диска сбрасывается пленка

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

жидкости, которая затем распадается на крайне разнородную систему капель. По существу, это тот же самый процесс, который происходит при распыливании гидравлическими форсунками.

Таким образом, на спектр размеров капель в распыле влияют три фактора: скорость диска; конфигурация периферии диска (наличие зубцов и углублений, их геометрия, способ подачи жидкости на диск, площадь и толщина пленки, растекающейся по диску), а также интенсивность подачи жидкости на диск.

Отмеченные факторы (каждый в отдельности) требуют более глубокого изучения, однако в задачи данной работы это не входит. Для практического использования в системах вентиляции и кондиционирования наиболее интересен близкий к монодисперсному «капельный» режим распыления, для которого были определены размеры капель по формуле (19) первой части работы. Рассчитанные отрывные диаметры капель при угле конусности каплеобразующего элемента $2b$ =30° и $\overline{L}=10$ составляют $d_к$ = 140 мкм, при угле $2b$ =15° и $\overline{L}=20$ $d_к$ = 110 мкм, что близко к экспериментальным значениям $d_{к,ср}$ =138 мкм и $d_{к,ср}$ =115 мкм, соответственно.

Рассчитанные по формуле (19) отрывные диаметры капель также хорошо согласуются с данными экспериментального определения дисперсных характеристик распыла известной конструкции генератора монодисперсных аэрозолей (ГМА) [4]. Распылитель, представляющий собой набор дисков, в щель между которыми установлены каплеобразующие элементы в виде игл, отличается очень высокой производительностью и низким показателем полидисперсности. По данным [4], в «капельном» режиме распыления он составляет $\frac{d_к^{max}}{d_к^{min}} < 2$, а в большинстве случаев его значение не превышало 1.4. При угле конусности каплеобразующих элементов $2b$ =10° и относительном радиусе вращения $\overline{L}=40$ расчет по формуле (19) дает $d_к$ =85 мкм, что на +12 % отличается от среднего диаметра капель в опытах с ГМА ($d_{к,ср}$ =76 мкм [4]).

Близость расчетных и опытных значений для разных по конструкции распылителей свидетельствует об адекватности разработанной математической модели каплеобразования на смачиваемых элементах в поле центробежной силы. Это позволяет рекомендовать полученные в первой части работы зависимости для оценки размеров капель при монодисперсном диспергировании воды распылителями с зубчатой периферией в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Image J. URL: http://rsb.info.nih.gov.
2. Bals E.J. The reasons for c.d.a. (controlled droplet application) // Proc. Brit. Crop. Prot. Conf. – Weeds, Brighton, 1978. – P. 659-666.
3. Дунский В.Ф., Никитин Н.В. Капание жидкости с острия // ПМФТ, 1980, № 1. – С. 49-55.
4. Колесник А.А. Разработка и исследование пористых вращающихся распылителей жидкостей // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – Казань: КХТИ, 1983. – 15 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.33
А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор
А.А. Адельшин – кандидат технических наук, инженер
E-mail: a566pm@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Б.М. Гришин – доктор технических наук, профессор
В.Г. Камбург – доктор технических наук, профессор
М.В. Бикунова – кандидат технических наук, доцент
E-mail: bgrishin@rambler.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕПРОМЫСЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ

АННОТАЦИЯ

Дано описание предлагаемой технологии очистки сточных вод нефтепромыслов с применением гидроциклонов, снабженных цилиндрическими сливными камерами. Приведены экспериментальные данные дисперсного состава капель нефти до и после обработки сточных вод в вихревых камерах сливов. Получена математическая зависимость для определения эффекта отстаивания сточных вод, обработанных с использованием центробежных сил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтесодержащие сточные воды, очистка, коэффициент закрутки, гидроциклоны, сливные камеры, отстаивание.

A.B. Adelshin – doctor of technical science, professor
A.A. Adelshin – candidate of technical sciences, engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering
B.M. Grishin – doctor of technical science, professor
V.G. Kamburg – doctor of technical science, professor
M.V. Bikunova – candidate of technical science, associate professor
Penza State University of Architecture and Engineering

INVESTIGATIONS OF OILFIELDS WASTE WATER PURIFICATION BASED ON VORTEX FLOWS

ABSTRACT

The description of oil fields waste water purification suggested technology with the use of hydrocyclones and drain chambers is given. The experimental tests data of the oil drops fraction composition before and after treatment in vortex drain chambers are shown. The mathematical function for finding of settling effect treated with centrifugal forces waste water is got.

KEYWORDS: oil polluted waste water, purification, vortex coefficient, hydrocyclones, drain chambers, settling.

В процессе добычи нефти вместе с ней извлекаются пластовые воды (обводненность добываемой нефти в нашей стране превышает 80 %), которые отделяются от нефти на промысловых установках подготовки нефти и образуют пластовые сточные воды (ПСВ). С каждой тонной добытой нефти извлекается более 1 м^3 пластовых вод. ПСВ вместе с промышленными и ливневыми стоками образуют нефтесодержащие (нефтепромысловые) сточные воды (НСВ). Объем НСВ по стране достигает 1,2 млрд. м^3 в год, из которых более 90 % используется в системах заводнения. Утилизация НСВ в системах заводнения позволяет увеличить нефтеотдачу пластов в 1,5-2 раза, сократить потребление пресных вод, решить проблемы ликвидации НСВ и защиты окружающей среды от загрязнений на промыслах [1-3].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На промыслах Российской Федерации очистка НСВ от нефти и механических примесей преимущественно осуществляется отстаиванием. Отстойники имеют относительно низкие удельную производительность и качество очистки, а также большие габариты и металлоемкость.

Основным направлением в повышении эффективности отстаивания НСВ являются интенсификация и совершенствование технологических процессов предварительного гидродинамического разрушения и очистки НСВ.

Сущность и эффективность процесса разрушения НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения бронирующих оболочек на каплях нефти и их коалесценции. Эти процессы осуществляются наиболее полно и интенсивно при определенной степени турбулизации потока НСВ в полости различных аппаратов – гидродинамических каплеобразователей.

К настоящему времени создана технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ в гидроциклонах.

Гидродинамическое воздействие на НСВ в полости гидроциклона имеет наибольшее количество интенсифицирующих процесс коалесценции факторов, способствует быстрому разрушению бронирующих оболочек на глобулах нефти, в целом интенсифицируя процесс последующей очистки. Недостатком гидроциклонов является малое время обработки НСВ (не более 1-3 с), не позволяющее в полной мере использовать энергию закрученных потоков для эффективной коалесценции капель нефти [2, 3].

Наряду с гидроциклонами, для интенсификации процессов разрушения нефтяных эмульсий промыслов нашли широкое применение простые по конструкции и весьма эффективные в работе трубчатые гидродинамические каплеобразователи. Они имеют высокую удельную производительность, небольшие размеры, низкую металлоемкость, возможность использования в стесненных условиях. Наиболее эффективно работают горизонтальные трубчатые каплеобразователи, которые могут быть использованы одновременно в качестве коалесцирующих аппаратов и коммуникационных трубопроводов, обеспечивающих достаточно длительное время коалесценции капель нефти.

Закрученные потоки на сливах гидроциклонов обладают большим запасом остаточной энергии, что может быть использовано для достижения высокого уровня разрушения бронирующих оболочек и коалесценции капель нефти НСВ [1]. Применение трубчатых каплеобразователей в качестве коаксиально расположенных в горизонтальной плоскости цилиндрических сливных камер гидроциклонов позволяет более полно использовать энергию закрученных потоков на сливах гидроциклона и совместить преимущества данных конструкций для интенсификации процессов коалесценции нефтяных капель в НСВ [2].

Интенсивность закрутки потока в сливных камерах характеризуется параметром закрутки Θ – безразмерным отношением момента количества движения (M) потока в осевом направлении к произведению количества движения (K) потока в осевом направлении на радиус закрученной струи (r) [4]:

$$\Theta = \frac{M}{K \cdot r}, \tag{1}$$

где

$$M = 2p\int_0^{r_0} r \cdot u_z \cdot u_j \cdot r^2 dr; \qquad K = 2p\int_0^{r_0} r \cdot u_z^2 \cdot r dr,$$

где x_z, x_φ – соответственно осевая и радиальная составляющие скорости закрученного потока в трубопроводе в цилиндрической системе координат, м/с; r_0 – радиус сливного трубопровода, м; r – плотность среды, кг/м^3.

При условии, что на входе в трубопровод $x_z = x_{oc}$, $x_\varphi = \omega r_0$, для случая вращения потока с постоянной циркуляцией $u_j \cdot r = const$ определена расчетная начальная интенсивность на входе в исследуемый участок:

$$\Theta = \frac{\omega \cdot d^2}{2D_c \upsilon_{oc}}, \tag{2}$$

где ω – угловая скорость на выходе из сливного патрубка, с$^{-1}$; x_{oc} – средняя осевая скорость

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

течения закрученной струи, м/с; d – диаметр сливного патрубка гидроциклона, м; D_c – диаметр закрученной струи в камере, м; $d \le D_c = 2r \le D_0$; D_0 – диаметр камеры (сливного трубопровода), м.

Для гидроциклона диаметром $D_ц$ с постоянной циркуляцией скорости универсальный параметр закрутки на входном участке камеры слива будет определяться по формуле:

$$\Theta = \frac{K_П \cdot K_U \cdot u_{вх} \cdot D_ц}{D_0 \cdot u_{ос}}, \quad (3)$$

где K_U – коэффициент скорости, $K_U = 0{,}78 - 0{,}8$;

$K_П$ – коэффициент распределения потока обрабатываемой НСВ по камерам слива, $K_П$ =0,55-0,6 для нижнего слива, $K_П$ =0,4-0,45 для верхнего слива;

$u_{вх}$ – скорость входа потока НСВ в гидроциклон, м/с.

При движении закрученного потока вдоль камеры слива величина коэффициента закрутки постоянно уменьшается за счет снижения угловой скорости вращения ω.

Исследования процессов укрупнения эмульгированных капель нефти в результате гидродинамической обработки исходной НСВ и очистки ее от нефти производились на экспериментальной установке (рис. 1) при работе гидроциклона с давлением на входе 0,4 МПа с противодавлением на выходе из цилиндрических камер нижнего и верхнего сливов порядка 0,2 МПа. Производительность гидроциклона по исходной НСВ составляла 4-9,5 м^3/ч.

Проведение опытов, анализов и обработка результатов производились в соответствии с методикой, изложенной в работе [4]. Исследования состояли в определении концентрации нефти и дисперсного состава капель нефти до и после гидродинамической обработки НСВ, а также концентрации нефти в очищенной НСВ на выходе из отстойника 7 (см. рис. 1).

Экспериментальные исследования производились в следующей последовательности: бак 3 заполнялся предварительно отфильтрованной исходной сероводородосодержащей нефтепромысловой сточной водой (НСВ) ОАО «Татнефть». Затем включался в работу насос 2, с помощью которого заполнялись водой (НСВ) гидроциклон 1, цилиндрические камеры нижнего слива 5 и верхнего слива 4, а также отстойник 7.

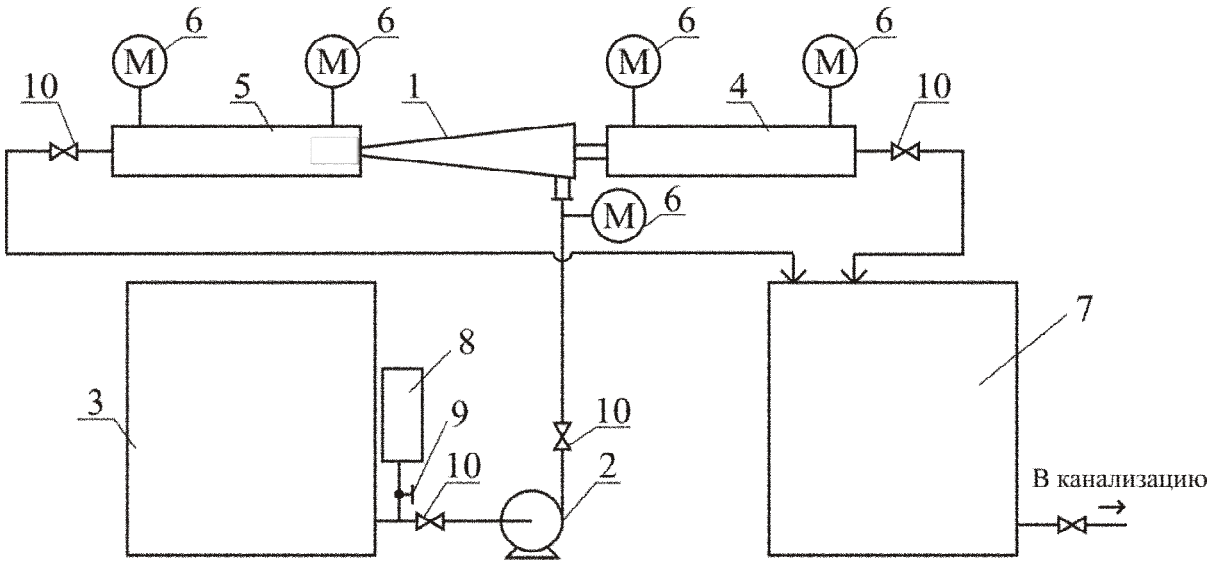


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – гидроциклон; 2 – центробежный насос; 3 – бак исходной сточной воды;
4, 5 – цилиндрические камеры верхнего и нижнего сливов; 6 – манометры;
7 – отстойник; 8 – дозирующее устройство; 9 – вентиль; 10 – задвижки

В экспериментах на опытной установке параметр закрутки на входе в сливные камеры изменялся в пределах $\Theta = 13{,}2 - 27{,}0$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

После достижения установившегося режима (при указанных выше давлениях) в поток воды на всасывающем патрубке насоса производилась дозировка нефти с помощью дозирующего устройства 8 вентилем 9.

В экспериментах производился отбор не менее трех проб эмульсии (НСВ) для определения содержания и дисперсного состава нефти. В опытах температура НСВ составляла 25-30 ^{0}С, весовая концентрация нефти в НСВ изменялась от 200 до 1000 мг/л, что соответствовало значениям относительной объемной концентрации φ от $2{,}3\cdot10^{-4}$ до $1{,}2\cdot10^{-3}$.

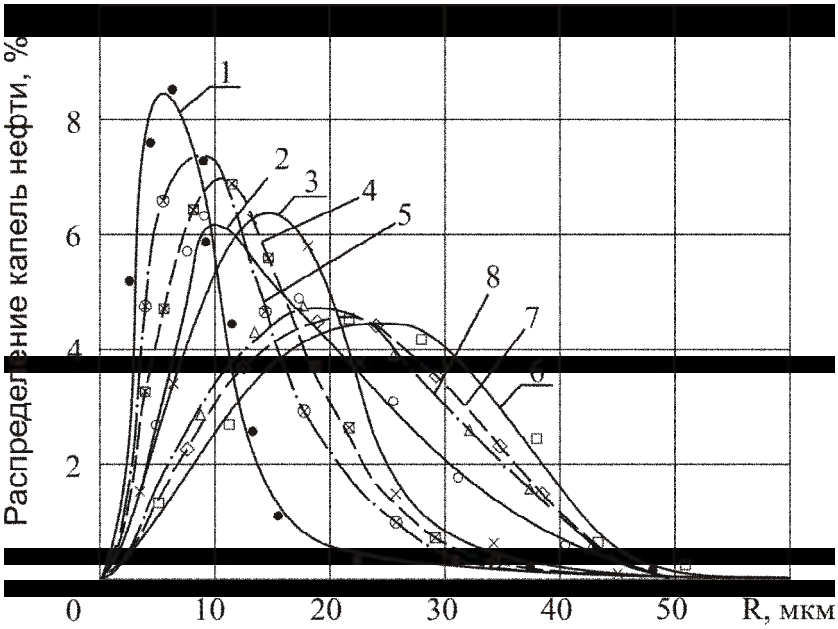


Рис. 2. Экспериментальные графики процентного распределения капель нефти по крупности для $j = 8\cdot10^{-4}$, $\Theta_B = 20{,}0$, $\Theta_H = 16{,}0$: 1 и 2 – соответственно на входе в цилиндрические камеры нижнего и верхнего слива гидроциклона ($D_в = D_н = 100$ мм); 3, 4 и 5 – на выходе из цилиндрической камеры нижнего слива гидроциклона соответственно при $L_н = 2$ м, 3 м и 1 м; 6, 7, 8 – на выходе из камеры верхнего слива при $L_в = 2$ м, 3 м и 1 м

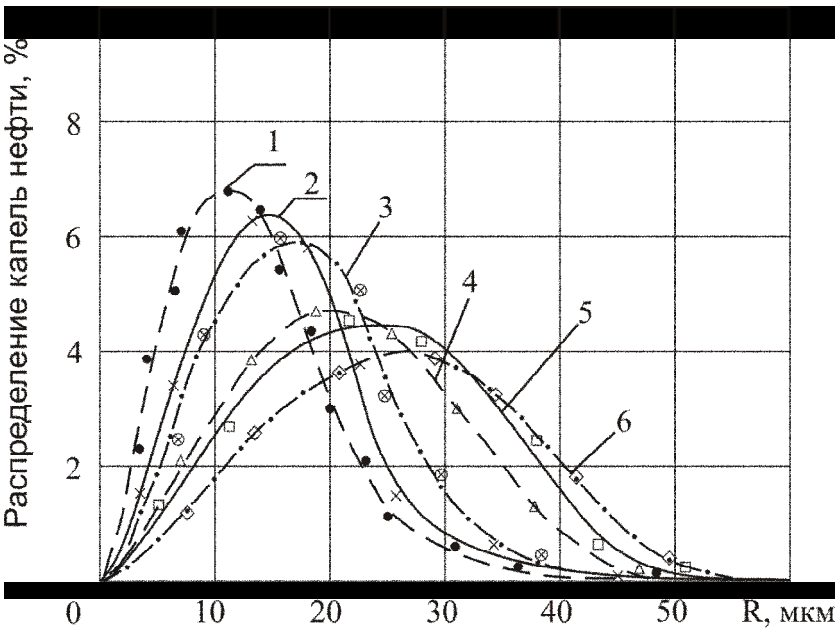


Рис. 3. Экспериментальные графики процентного распределения капель нефти по крупности для $j = 5\cdot10^{-4}$ ($D_в = D_н = 100$ мм, $L_в = L_н = 2$ м): 1, 2, 3 – на выходе из цилиндрической камеры нижнего слива гидроциклона соответственно при $\Theta_Н = 20{,}1$; 14,8 и 17,5; 4,5 и 6 – на выходе из цилиндрической камеры верхнего слива гидроциклона соответственно при $\Theta_В = 25{,}4$; 16,0 и 21,0

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В результате экспериментальных исследований и обработки опытных данных были получены гистограммы дисперсного состава капель нефти по крупности в исходной воде на входе в цилиндрические камеры нижнего и верхнего сливов и на их выходе (рис. 2 и 3). Опытные данные показали, что оптимальные значения величины параметра закрутки $\Theta_в$ для цилиндрической камеры 4 верхнего слива гидроциклона 1 (см. рис. 1) находятся в пределах 20,0-23,0, а оптимальные значения величин $\Theta_н$ для камеры нижнего слива 5 гидроциклона 1 находятся в пределах 16,0-18,5, при этом рекомендуемое соотношение длин камер верхнего 4 и нижнего 5 сливов гидроциклона 1 к их диаметрам равно 20÷30. Указанные диапазоны изменений соотношений геометрических параметров камер и патрубков обуславливают оптимальный режим процесса коалесценции капель нефти в камерах. При $\Theta_B < 20{,}0$ и $\Theta_H < 16{,}0$ эффект укрупнения капель нефти ухудшается вследствие того, что часть энергии закрученного потока, предназначенного для реализации процесса коалесценции капель нефти, вследствие увеличивающегося стеснения струи расходуется на трение о стенку камеры. При увеличении $\Theta_В > 23{,}0$ и $\Theta_Н > 18{,}5$ эффект укрупнения капель также ухудшается вследствие того, что часть энергии закрученного потока рассеивается в увеличенных объемах камер. При соотношении длин камер к их диаметрам менее 20 эффект укрупнения капель нефти ухудшается вследствие незавершенности процесса коалесценции из-за недостаточной длины камер, при увеличении соотношений более 30 эффект укрупнения капель нефти увеличивается незначительно (примерно на 5 %), но вместе с тем увеличивается металлоемкость, энергоемкость и габаритные размеры сливных камер НСВ.

На рис. 4 показаны кривые кинетики отстаивания исходной (кривая 1) и обработаной в гидроциклоне (без камер сливов) НСВ (кривая 2) при объемной концентрации нефти в НСВ $j = 8 \cdot 10^{-4}$.

Эффект отстаивания определялся по формуле:

$$Э = \frac{C_{ИСХ} - C_{ОТ}}{C_{ИСХ}} \cdot 100\,\%, \qquad (4)$$

где $C_{исх}$ и $C_{от}$ – концентрации частиц нефти в исходных и очищенных НСВ.

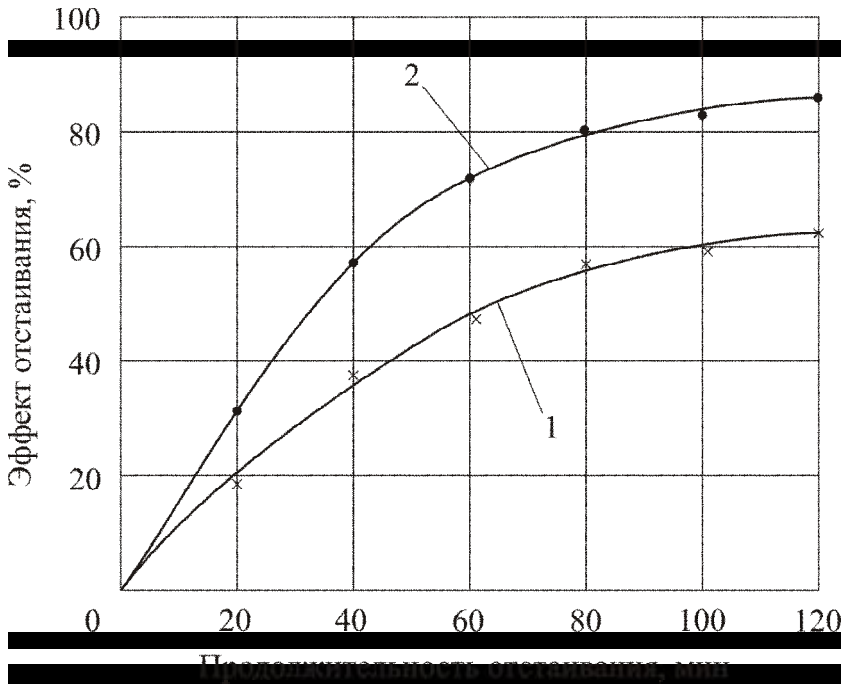


Рис. 4. Графики отстаивания НСВ при $j = 8 \cdot 10^{-4}$
1 – исходная (не обработанная) НСВ;
2 – НСВ, обработанная в гидроциклоне без камер сливов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

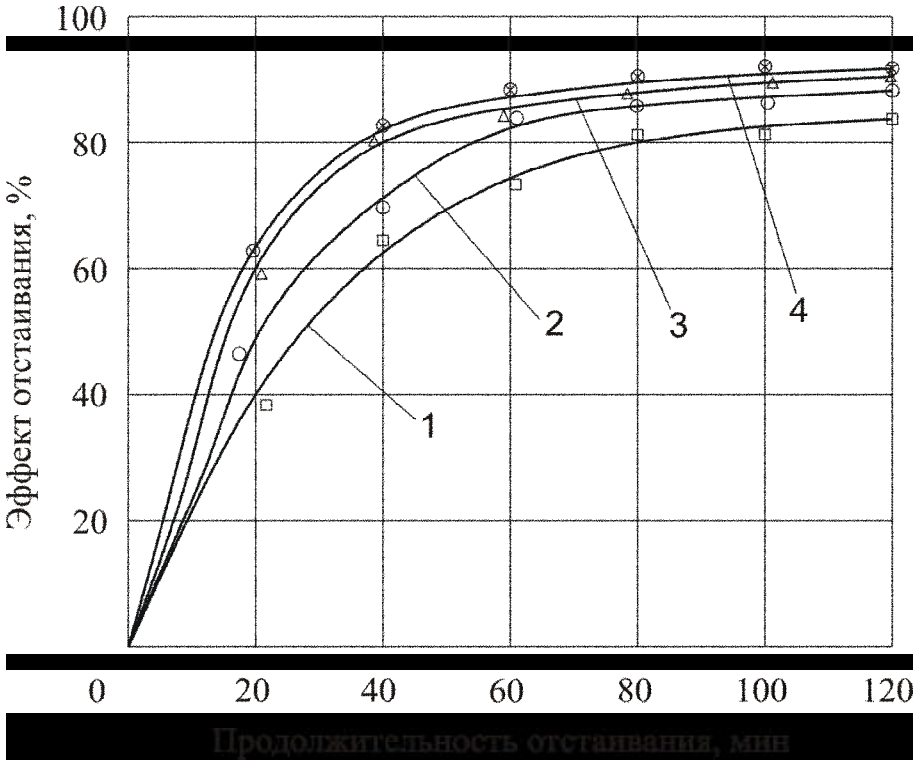


Рис. 5. Графики эффективности отстаивания НСВ,
обработанной по схеме «гидроциклон – камеры сливов»
при 1 – $j = 2{,}3 \cdot 10^{-4}$; 2 – $j = 4{,}3 \cdot 10^{-4}$; 3 – $j = 8{,}1 \cdot 10^{-4}$; 4 – $j = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$

На рис. 5 приведены графики кинетики отстаивания НСВ, обработанной по схеме «гидроциклон – камеры сливов» при различных значениях объемной концентрации частиц нефти.

Анализ полученных данных показывает, что обработка НСВ по схеме «гидроциклон – камеры сливов» позволяет, по сравнению с обработкой только в гидроциклоне, при времени отстаивания $t_{отс}$=60 мин. и одинаковой концентрации нефти ($\varphi = 8{,}1 \cdot 10^{-4}$) увеличить эффект отстаивания с 74 до 87 %. После двухчасового отстаивания эффект очистки НСВ при $\varphi \geq 8{,}1 \cdot 10^{-4}$ достигал 93,5-94,5 %, что соответствовало остаточному содержанию нефти в отстоянной воде 45-55 мг/л (ц = (0,5 – 0,6)·10^{-4}), в то время как эффективность двухчасового отстаивания НСВ после обработки только в гидроциклоне не превышала 85 %. Отстаивание исходной НСВ без обработки в гидроциклоне в течение 2-х часов дало эффект осветления не более 63 % (см. рис. 4). Обработка опытных данных позволила получить следующую математическую зависимость для эффекта отстаивания НСВ по схеме «гидроциклон – камеры сливов – отстойник»:

$$Э = a \cdot \left(1 - \exp\left(-b(j)\frac{jt}{1 - jt}\right)\right), \ \% \qquad (5)$$

где a – коэффициент; a = 89,58;
$ц$ – относительная объемная концентрация нефти в НСВ;
t – время отстаивания, мин, $0 \leq t \leq 120$ мин.
$b(ц)$ – функция, определяемая по формуле

$$b(ц) = \frac{1}{14{,}19j + 0{,}004}. \qquad (6)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Заключение

1. При очистке НСВ в качестве эффективных трубчатых каплеобразователей могут применяться цилиндрические сливные камеры гидроциклонов, которые позволяют более полно использовать энергию закрученного потока для коалесценции капель нефти.

2. Экспериментально найдены оптимальные соотношения длин и диаметров сливных камер (L/D = 20-30), а также рекомендуемые значения параметра закрутки потоков для верхней ($\Theta_в$ = 20-23) и нижней ($\Theta_н$ = 16-18,5) сливных камер, позволяющие наиболее эффективно осуществлять процесс коалесценции нефтяных капель. Количественная оценка дисперсного состава эмульгированной нефти в НСВ показала высокую степень коалесценции капель нефти в эмульсии, обработанной по предлагаемой технологии.

3. Экспериментально установлено, что остаточное содержание нефти в отстоянной воде после обработки в гидроциклоне с камерами сливов и двухчасового отстаивания составляет 45-55 мг/л при эффекте очистки 93,5-94,5 %, что более чем на 8 % превышает эффективность очистки по схеме «гидроциклон – отстойник» и на 20 % превышает эффективность отстаивания не обработанной в центробежном поле НСВ. Получена математическая зависимость, адекватно описывающая кинетику отстаивания НСВ, предварительно обработанной в гидроциклоне с верхней и нижней камерами сливов.

4. Новую технологию очистки НСВ с использованием закрученных потоков в гидроциклоне и на камерах сливов для гидродинамической обработки исходной эмульсии можно рекомендовать к применению при разработке оборудования для очистки НСВ с целью заводнения нефтяных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытое акционерное общество «Татнефть». Корпоративная библиотека (издание первое). Сборник «ТатНИПИнефть. Научные труды». – М.: НП «Закон и порядок», 2006. – 571 с.
2. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Андреев С.Ю., Гришин Б.М. Новые технические решения для очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием закрученных потоков // Известия вузов. Строительство, 2008, № 10. – С. 64-69.
3. Адельшин А.А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков. Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Пенза, 2009. – 23 с.
4. Гунта А., Лилли Ф., Сайред Н. Закрученные потоки. – М.: Мир, 1987. – 588 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.161.2
А.В. Коряйкина – аспирант
Р.И. Аюкаев – доктор технических наук, профессор
E-mail: anna0@drevlanka.ru
Петрозаводский государственный университет

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

АННОТАЦИЯ

Традиционные методы очистки высокоцветных маломутных вод из природных водоисточников в ряде случаев не обеспечивают получение питьевой воды надлежащего качества или способствуют значительному увеличению стоимости строительства и эксплуатации водоочистных комплексов.

В статье рассматриваются возможности использования альтернативных методов (биологических методов: медленная фильтрация, биосорбция) для обесцвечивания природных вод. Приводятся некоторые результаты комплекса фильтрационных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка высокоцветных природных вод, биологические методы очистки, медленная фильтрация, биосорбция.

A.V. Koryaykina – post-graduate student
R.I. Ayukaev – doctor of technical sciences, professor
Petrozavodsk State University

APPLICATION OF BIOTECHNOLOGIES FOR CLEARING OF COLOUR NATURAL WATERS FROM SUPERFICIAL SOURCES IN THE CONDITIONS OF THE NORTH

ABSTRACT

Traditional methods of clearing of colour natural waters in some cases do not ensure reception of qualitative potable water. In article possibilities of use of alternative methods for decolouration of natural waters are considered. Some results of laboratory researches are also presented in given article.

KEYWORDS: clearing of colour natural waters, biological methods of clearing.

В настоящее время в республике Карелия для целей питьевого водоснабжения используется вода, главным образом, из поверхностных источников. Основными источниками водоснабжения в республике являются Онежское озеро, озера Среднее Куйто, Исо-Пюхяярви, Паново, Пряжинское, Сямозеро, Ведлозеро, реки Суна, Муезерка, Лендерка. Согласно данным исследований, проведенных сотрудниками Карельского научного центра [1], для 55 % территории республики характерны воды со значительным содержанием гумусовых веществ, достаточно высокой цветностью (до 160 градусов платино-кобальтовой шкалы (єПКШ)) и перманганатной окисляемостью (8-30 мгО/л).

Гумусовые вещества, обуславливающие высокую цветность природных вод Карелии, представляют собой сложную смесь высокомолекулярных биохимически устойчивых соединений.

В поверхностных водах гумусовые вещества могут находиться в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Соотношение между ними, как правило, определяется химическим составом воды, ее pH. В кислых водах возможно существование свободных форм гуминовых и фульвокислот. В низкощелочных карельских водах гумусовые вещества в результате взаимодействия с двухвалентными ионами кальция и магния образуют нерастворимые соединения, что способствует еще большему увеличению цветности воды.

Для очистки высокоцветных маломутных поверхностных вод Карелии используют реагентные методы очистки только на водопроводных очистных сооружениях (ВОС) самых крупных водопотребителей: г. Петрозаводска и сравнительно молодого города горняков Костомукши, в подавляющем большинстве населенных пунктов (г. Беломорск, пос. Калевала, г. Кондопога, пос. Надвоицы) проводится только механическая очистка питьевой воды. ВОС отсутствуют вообще в г. Суоярви, Сортавала, Медвежьегорск, многих крупных поселках и практически во всех малых населенных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

пунктах республики. В условиях Карелии реагентный способ обесцвечивания воды достаточно трудоемкий. Природные воды Карелии содержат устойчивые органические комплексы, коллоидные примеси, характеризуются недостаточным щелочным резервом, длительным периодом низких температур. В этих условиях коагуляция протекает неудовлетворительно, требует подщелачивания. Образующиеся хлопья гидроксида алюминия (железа) рыхлые, плохо оседают, в холодный период времени процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются. Все это ведет к перерасходу реагентов, повышению гидравлической нагрузки на очистные сооружения, увеличению концентрации остаточного алюминия в обработанной воде (гуминовые и фульвокислоты устойчивы по отношению к электролитам из-за высокой гидрофильности).

В этом контексте представляют интерес альтернативные биологические методы, основанные на использовании микроорганизмов-деструкторов загрязняющих веществ, иммобилизованных на носителях [3].

Исследования в этом направлении проводятся в Петрозаводском государственном университете. На начальном этапе исследований ставилась задача оценить принципиальную возможность применения биологических методов очистки для обработки природных высокоцветных вод. В этом смысле особый интерес представляла технология медленного фильтрования – относительно простая, недорогая и достаточно эффективная в конструктивном оформлении водоочистных сооружений.

В результате первого этапа экспериментов выяснилось, что при малых скоростях фильтрации (до 0.2 м/ч) имеет место устойчивый эффект снижения цветности, который может быть востребован на сооружениях небольшой производительности.

Наиболее крупные загрязнения задерживаются на мелкозернистой фильтрующей загрузке, заклиниваясь в порах, и сужают их сечение. Благодаря этому на поверхности и в порах первых по потоку жидкости слоев загрузки задерживаются все более и более мелкие загрязнения, коллоиды и бактерии. На поверхности загрузки фильтра образуется тонкая фильтрующая пленка. Задержанные пленкой бактерии и органические вещества обуславливают возникновение в ней биологических процессов, в том числе и развитие низших микроорганизмов, поглощающих бактерии. Зерна песка обрастают студенистой массой, которая является хорошим сорбентом.

Массоперенос вещества у поверхности биопленки носит сорбционно-адгезионный характер, определяемый биологическими особенностями системы, а также силами, связанными с электрическим зарядом взаимодействующих частиц. В этом смысле проявляется некоторое сходство между медленным фильтрованием и обработкой воды в полноценном биосорбционном реакторе. В обоих случаях имеет место сорбция растворенных органических загрязнений на поверхности биопленки с последующим их окислением. Различие заключается в масштабности протекающих процессов и, соответственно, в возможностях их интенсификации.

В биопленке с сорбированным веществом процесс очистки лимитируется скоростью гидролиза, а также пористостью среды. При этом имеет место эффект биологического саморегулирования – бактерии перемещаются в зону высоких концентраций субстрата. Это приводит к возникновению активного верхнего слоя биопленки. Как следствие, степень очистки возрастает быстрее при увеличении числа небольших по высоте секций, нежели при увеличении высоты слоя загрузке в одной большой секции.

Особый интерес представляет возможность развития на биологической пленке сообщества микроорганизмов – деструкторов гуминовых веществ. Биологическая фильтрующая пленка, которая является основным механизмом обесцвечения и осветления воды на медленных фильтрах, была изучена Оводовым В.С. [4]. Им, в частности, были установлены основные закономерности образования и развития биопленки. При фильтровании воды через песчаную загрузку с малыми скоростями первоначально образуется нижняя песчано-грязевая часть фильтрующей пленки. Ниже этого слоя частицы взвеси способны проникать на 8-10 см. После образования песчано-грязевого слоя загрязнения задерживаются на поверхности загрузки фильтра, образуя верхнюю рыхлую часть фильтрующей биологической пленки толщиной 4-10 мм. При дальнейшем фильтровании происходит уплотнение нижележащих слоев рыхлой части и образование уплотненной части пленки. И, наконец, формируется видимая биологическая пленка, в составе которой имеются минеральные и органические вещества, задержанные верхними слоями фильтра. Эта видимая часть, названная Оводовым В.С. «упругим ковром» [4], имеет мелкопористую структуру, в ней развиваются микроскопические водоросли и многочисленные бактерии различных видов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Понятно, что образование фильтрующей пленки – достаточно сложный и длительный процесс. Период осветлительного созревания фильтра принято считать законченным, когда мутность фильтрата перестает превышать 1.5 мг/л. В условиях фильтрования маломутных высокоцветных Карельских вод продолжительность этого периода не превышала 15-20 минут.

Продолжительность периода бактерицидного созревания также зависит от мутности поступающей воды и, согласно исследованиям, проведенным Оводовым В.С. [4] и Аюкаевым Р.Р. [5], может составлять от 3 до 40 ч (рис. 1).

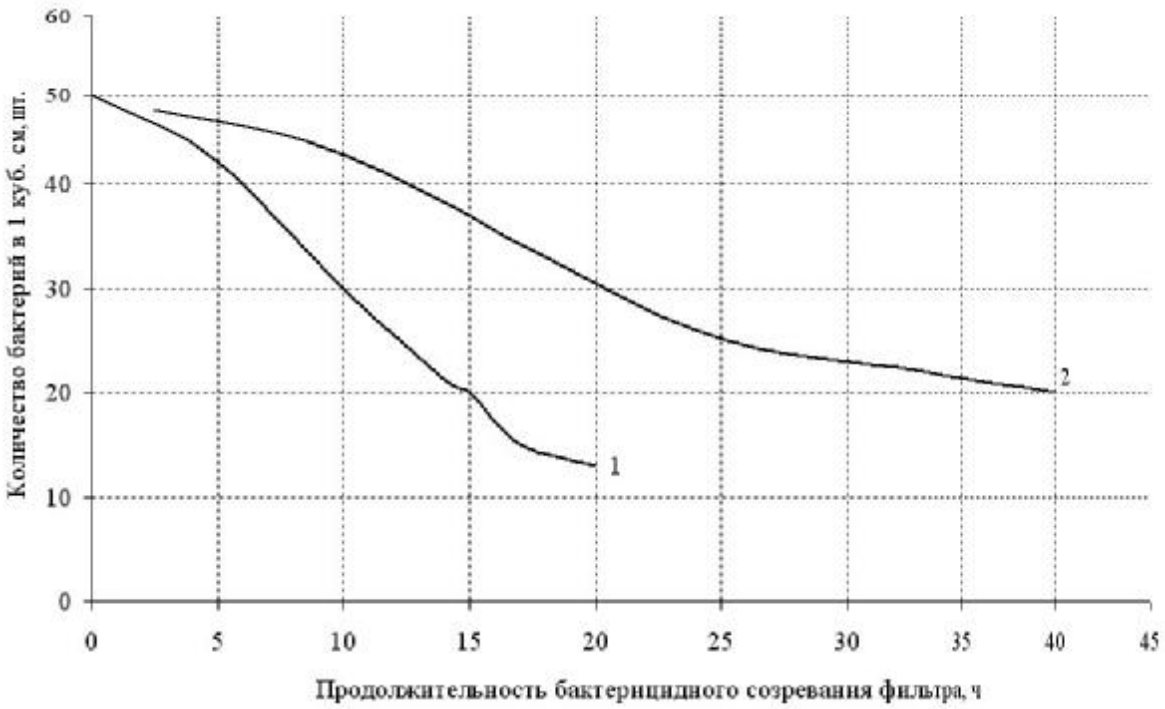


Рис. 1. 1 – данные исследований Оводова В.С., 2 – данные исследований Аюкаева Р.Р. (вода оз. Укшозеро, республика Карелия)

Перспектива использования медленного фильтрования для обесцвечивания природных вод исследована нами на секционной модификации медленного фильтра (рис. 2): слои песчаной загрузки небольшой толщины (1.5-4 см) разделены воздушными прослойками.

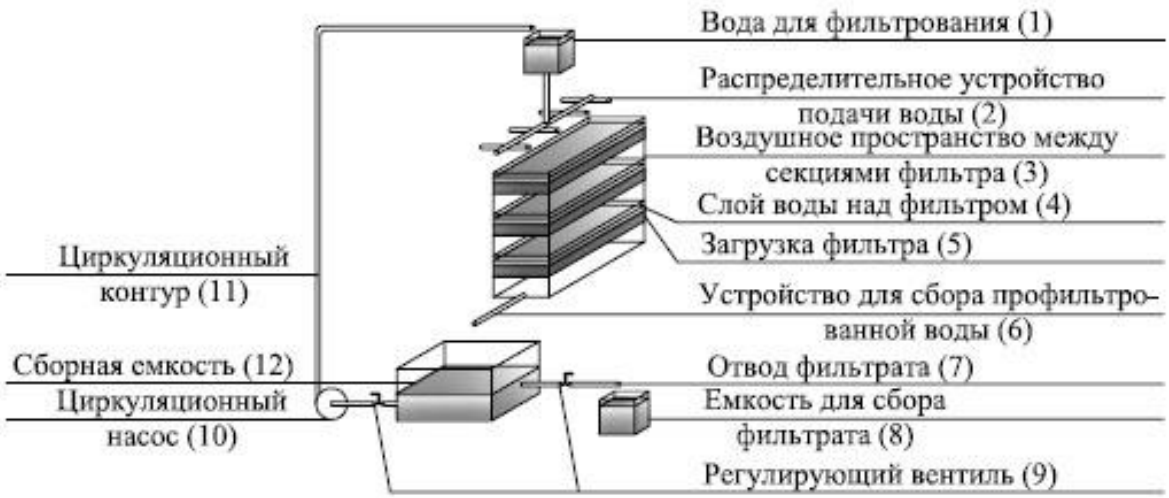


Рис. 2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Исходная вода из бака (1) подается в распределительное устройство первой секции фильтра (2), после чего последовательно проходит все три секции фильтрационной установки и подается в сборную емкость (12), откуда перекачивается в бак исходной воды циркуляционным насосом (10).

Продолжительность осветлительной и бактерицидной фаз созревания фильтра составляла около 12 ч. После созревания изучались возможности медленного фильтра в обесцвечивании воды. Пробы воды отбирались ежесуточно, продолжительность одной группы экспериментов составляла 15 сут. Скорость фильтрации варьировалась в интервале 0.1-0.2 м/ч. Цветность исходной воды составляла 120-140 єПКШ. Регулированием гидравлического сопротивления системы обеспечивался режим фильтрации, при котором слой воды над загрузкой в каждой секции составлял не менее 5 см. Температура исходной воды варьировалась от 5 до 20 є.

Эксперименты показали высокую эффективность медленных фильтров в обесцвечивании природной воды. Максимальная эффективность очистки достигала 70 % при цветности исходной воды 140 °ПКШ.

Возможности медленного фильтрования ограничены низкой удельной скоростью окисления и производительностью. На втором этапе исследований рассмотрены возможности одной из разновидностей «чистых» биосорбционных аппаратов.

В лабораторных условиях нами использовался простейший вариант установки, представляющей собой колонну с загрузкой из активированного угля, аэратор и распределительное устройство (рис. 3). Из сборной емкости циркуляционным насосом (5) исходная вода подавалась в аэрационную колонну (7), где насыщалась кислородом воздуха. Из емкости (1) вода поступала в фильтрационную колонну с активированным углем – биосорбер (2).

Механизм биосорбционного эффекта описан в работе [3]: при подаче воды активированный уголь начинает адсорбировать органические вещества, некоторые из которых служат субстратом для развития микроорганизмов; в течение некоторого времени эти микроорганизмы берут на себя на себя основную роль в процессе очистки, увеличивая срок службы сорбента.

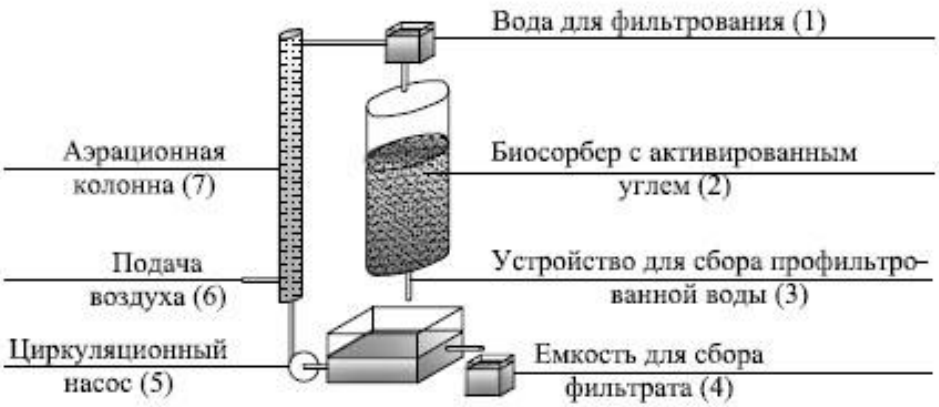


Рис. 3

Эксперименты на лабораторном биосорбере колонного типа (фильтрационной колонне) показали высокую эффективность очистки природной воды от трудноокисляемых органических загрязнений, обуславливающих ее цветность. По сравнению с технологией медленного фильтрования при примерно равных скоростях фильтрации удельная скорость окисления биосорбционной установки по показателю цветности увеличилась на порядок.

Для интенсификации процесса могут быть использованы модернизированные установки с прикрепленной биомассой, например, по типу дисковых биофильтров, отличающихся простотой изготовления, низкой энергоемкостью, простотой эксплуатации. На поверхности биодисков образуется слой, адсорбирующий поступающие загрязнения, при этом адсорбированные вещества хорошо удерживаются на этой поверхности, благодаря высокомолекулярным соединениям, синтезируемым микроорганизмами. С другой стороны, новый слой питательных веществ (адсорбированных загрязнений) притягивает к себе бактерии различных видов, находящихся во взвешенном состоянии. Кроме того, конструкция дисковых биофильтров позволяет реализовать такую модель существования биологических видов, как хищник-жертва, т.к. на каждой ступени очистки образуется свой биоценоз. Благодаря этому, возможно поедание микроорганизмов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

предыдущей ступени, выполняющих роль жертвы, микроорганизмами следующей ступени очистки, являющимися хищниками. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению количества отмирающей биопленки и, следовательно, к упрощению эксплуатации установки.

Лабораторные исследования продемонстрировали потенциальную возможность использования технологии медленного фильтрования и фильтрования на сорбенте для активизации биологических процессов обесцвечивания природных вод. Для количественной оценки процессов биологической очистки природных вод нами была использована обобщенная модель В.А. Вавилина [6]. В рамках модели удельная скорость биологической очистки описывается уравнением:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L^{n-p} \times L_0^p + L_e^n}, \qquad (1)$$

где L_0 – обобщенная характеристика загрязнения воды на входе, L_e – обобщенная характеристика загрязнения воды на выходе, X – средняя концентрация микроорганизмов, T – продолжительность обработки воды в реакторе, p_m – максимальная удельная скорость очистки, n, p, K_L – положительные константы.

Значения коэффициентов n, p_m, K_L зависят от типа очищаемой воды. Для многокомпонентных загрязнителей хорошим приближением является $p = n - 1$. В этом случае имеем:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L \times L_0^{n-1} + L_e^n}. \qquad (2)$$

Для трудноокисляемых многокомпонентных загрязнителей, обуславливающих цветность воды, удельная скорость биологической очистки неплохо описывается соотношением (2) при $n = 2$:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^2}{K_L \times L_0 + L_e^2}. \qquad (3)$$

Для математического описания процессов, протекающих в многосекционном медленном фильтре или биосорбционном реакторе колонного типа, органическую нагрузку будем выражать в $\left[\frac{L_0}{X \times T}\right] = \frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}$. Здесь $[X] = \frac{г}{л}$ – коэффициент нагрузки на единицу массы загрузки медленного фильтра или биосорбера.

По экспериментальным данным может быть построена зависимость $p = p(L_e)$ при фиксировании L_0 как параметра. Методами идентификации математических моделей определяются коэффициенты в модельном уравнении $p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L^{n-p} \times L_0^p + L_e^n}$.

Графическая зависимость $p = p(L_e)$ для секционного медленного фильтра (скорость фильтрования 0.1-0.2 м/ч), обрабатывающего высокоцветные воды реки Шуя (республика Карелия) при $L_0 = 140\left(^0 ПКШ\right)$ и температуре 15єС, представлена на рис. 4.

Максимальная скорость обесцвечивания воды в секционном медленном фильтре составила $p_m = 1.1\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$. Методом Гаусса определено значение коэффициента $K_L = 34.6\left(^0 ПКШ\right)$ для уравнения (3).

Максимальная скорость процесса обесцвечивания p_m при медленном фильтровании, как показали лабораторные исследования, является функцией температуры (рис. 5). Для описания температурного эффекта рядом автором [3, 4, 6] предлагается использовать уравнение Аррениуса, из которого, в частности, следует:

$$p_m = p_{0m} \times k^{t - t_0}, \qquad (4)$$

где k – температурная поправка, p_{0m} – скорость процесса при некоторой фиксированной температуре t_0.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

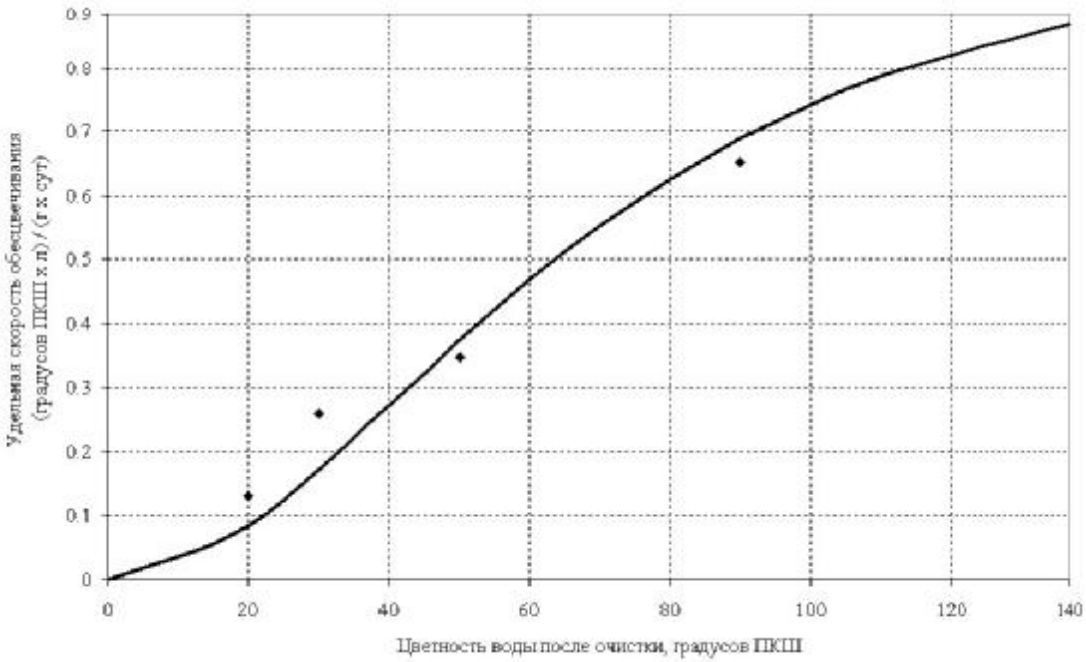


Рис. 4

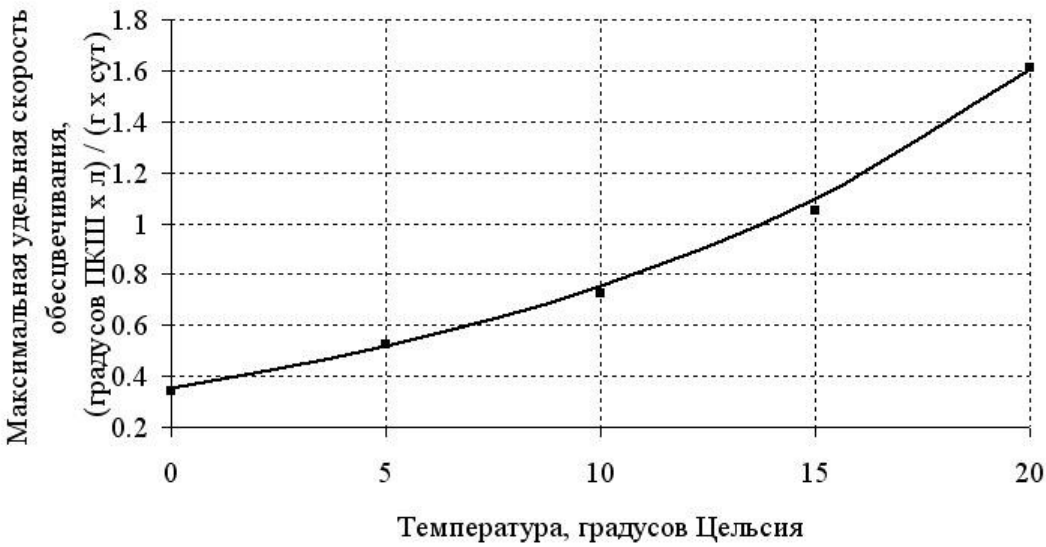


Рис. 5

Методом наименьших квадратов для условий эксперимента (медленное фильтрование) нами установлено, что $k = 1.035$.

Технологический расчет аппарата биологического обесцвечивания природной высокоцветной воды может быть построен на зависимости для определения требуемого количества загрузки на базе экспериментально определенной скорости обесцвечивания [3]. Масса загрузки M может быть определена по формуле

$$M = \frac{(L_0 - L_e) \times Q}{p(L_e)}, \tag{5}$$

где Q – производительность установки.

Располагая информацией о допустимой скорости потока в установке, можно определить конструктивные параметры устройства (диаметр сечения секции, количество секций и т.д.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Информация о параметрах K_L и p_m в уравнении (2) для определения удельной скорости обесцвечивания в условиях медленного фильтрования и биосорбции приведена в таблице.

Таблица

Исходная вода	Начальная цветность, єПКШ	Тип устройства и условия	Параметры уравнения (2)
р. Шуя, цветность обусловлена гуминовыми кислотами	140	Многосекционный медленный фильтр с песчаной загрузкой, активная высота загрузки секции – 5 см, температура воды – 15єС	$p_m = 1.1\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$, $K_L = 34.6\left(^0 ПКШ\right)$
р. Шуя, цветность обусловлена гуминовыми кислотами	140	Биосорбер, уголь марки АГ-5, температура воды – 15єС	$p_m = 11.0\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$, $K_L = 12\left(^0 ПКШ\right)$

Выводы:

1. Экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных условиях, продемонстрировали высокий потенциал биологических методов очистки высокоцветных природных вод, содержащих трудноокисляемые органические вещества.
2. Механизм сорбции растворенных органических загрязнений, обуславливающих цветность воды, на поверхности биопленки с последующим их окислением может быть реализован в условиях медленного фильтрования через песчаную загрузку. Биосорбер колонного типа с загрузкой активированным углем позволяет значительно интенсифицировать процесс за счет увеличения общего объема биопленки и скорости ее образования.
3. Процесс обесцвечивания природных вод неплохо описывается обобщенными нелинейными моделями биологической очистки. Удельная скорость окисления в условиях медленного фильтрования и очистки в биосорбере колонного типа значительно зависит от температуры среды и в интервале температур температур 0-20 єС удовлетворительно описывается уравнением Аррениуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвиненко А.В., Лозовик П.А., Карпечко В.А. Водные ресурсы Карелии как эколого-экономический фактор / Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 29-36.
2. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 579 с.
3. Пушников М.Ю. Очистка природных вод биосорбционным методом: автореф. дис. … канд. техн. наук: защищена 06.12.2000: утв. 2000. – М., 2000. – 24 с.
4. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. – М.: Колос, 1984. – 480 с.
5. Аюкаев Р.Р. Технология медленного фильтрования на сооружениях малой и средней производительности: дис. … канд. техн. наук: защищена 30.06.2005: утв. 2005. – Петрозаводск, 2004. – 193 с.
6. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. – М.: Наука, 1983. – 160 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.179
М.Д. Черносвитов – магистр, инженер
E-mail: mihail_che@mail.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ЧАСОВОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ

АННОТАЦИЯ

Представлены формулы (с выводом) для определения размеров потерь питьевой воды, как из зоны подачи насосной станции, так и в отдельных домах, по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода. Приведено описание существующих методик определения размера утечек воды. Определен размер утечек воды для ряда реальных объектов известными методами и по предложенным формулам. Произведено сравнение полученных результатов. Предложена методика определения расчетного ночного коэффициента часовой неравномерности характерного для жилых домов с выбранной степенью благоустройства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: потери воды, водопотребление, коэффициент часовой неравномерности.

M.D. Chernosvitov – magistrate, engineer
Samara State University of Architecture and Engineering

TECHNIQUE OF THE ESTIMATION OF LOSSES OF WATER ON FACTOR OF HOUR NON-UNIFORMITY

ABSTRACT

Formulas (with a conclusion) for definition of the sizes of losses of potable water, both from a zone of submission of pump station, and in separate houses, on factors of hour non-uniformity with allocation of the night period are presented. The description of existing techniques of definition of the size of outflow of water is resulted. The size of outflow of water for of some real objects by known methods and under the offered formulas is certain. Comparison of the received results is made. The technique of definition of settlement night factor of hour non-uniformity characteristic for apartment houses with the chosen degree of an accomplishment is offered.

KEYWORDS: losses of water, water consumption, factor of hour non-uniformity.

Описанные в литературе [1-8] методы оценки объема скрытых утечек можно разделить на три группы:

1. «Открытый» зональный метод. Участок зональных измерений на время производства замеров изолируется от остальной части водопроводной сети закрытием задвижек. Вода может поступать в зону сети через один или несколько питающих водоводов, оборудованных расходомерами. Объем скрытых утечек из наружной сети определяется как разность показаний расходомеров, установленных на питающих вводах зоны, и расходомеров, установленных на абонентских вводах, за один и тот же промежуток времени.

2. «Закрытый» зональный метод. Отличается от предыдущего метода тем, что на период измерений от сети отключаются все потребители воды в выбранной «закрытой» зоне. Величина скрытых утечек определяется по показаниям расходомеров, установленных на питающих вводах. Для определения потерь во внутридомовой сети при отсутствии водоразбора использование водомера можно заменить применением прибора инженера Панкевича [1] и соответствующей методикой определения объема воды, поступившей в сеть.

3. Определение объемов скрытых утечек на основании измерений ночных расходов. Этим методом определяют потери воды в отдельных районах (зонах водоснабжения) и утечки в зданиях.

При первом способе требуется наличие водосчетчиков на вводах потребителей, что не везде имеет место. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При втором способе требуется прекращение подачи воды потребителям, поэтому работы рекомендуется проводить в ночное время. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

Третий метод основывается на замерах ночных расходов по результатам показаний водосчетчиков, установленных на повысительных насосных станциях или водопроводных вводах в домах. В методике [2] говорится о необходимости укомплектовки водосчетчиков узлом импульсного выхода, соединенного с приборами накопления информации.

Согласно Инструкции по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения [3] величина скрытых утечек воды $q_{скр}$, из водопроводной сети микрорайона:

$$q_{скр} = [\sum Q - (\sum Q_{аб} + \sum q_н)]\frac{24}{t},\ м^3/сут \qquad (1)$$

где $\sum Q$ – объем поданной в сеть микрорайона воды в куб. м за t ч;

$\sum q_н$ – объем воды, не учитываемый средствами измерений;

$\sum Q_{аб}$ – объем воды, потребленный абонентами за тот же период.

Объем воды, не зарегистрированный средствами измерений, определяется по формуле:

$$W_{св} = \sum_1^m q_i^{пор} \cdot n_i \cdot t_i,\ м^3$$

где $q_i^{пор}$ – порог чувствительности средства измерения, куб. м/ч;

n_i – число средств измерения данного калибра;

t_i – число часов работы средства измерения с расходами в пределах порога чувствительности;

m – число калибров средств измерения.

Если средствами измерений охвачены единичные жилые дома в каждой группе однотипных домов, то результаты должны быть увеличены пропорционально числу домов в каждой группе.

В работе [4] была предложена формула:

$$Q_{ут}^{сут} = 24 q_н^{мин}, \qquad (2)$$

где $Q_{ут}^{сут}$ – суточная величина утечки, $м^3$/сут;

$q_н^{мин}$ – минимальный часовой ночной расход, $м^3$/ч.

Согласно Методике определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения [5] величина потерь (утечек) воды в здании $q_{ут}$ определяется по минимальному (мгновенному) ночному расходу воды и данным о напорах в дневное и ночное время, по формуле:

$$q_{ут} = q_{ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (3)$$

где: $q_{ноч}$ – минимальный (мгновенный) ночной расход воды, $м^3$/ч;

К – эмпирический коэффициент, равный 0,85;

$H_{эф\ дн}$ – эффективный напор в дневное время, м вод. ст.;

$H_{эф\ н}$ – эффективный напор в ночное время (с 1 до 5 ч), м вод. ст.

Для жилых домов вычисляется удельная величина ночного расхода и утечки на одного жителя $q_{ж\ ноч}$ и $q_{ж\ ут}$.

Также по Методике [5] определяют скрытые утечки в отдельных районах (зонах водоснабжения) по формуле (3), в которой вместо ночной утечки здания $q_{ут\ ноч}$ (скорее всего имеется ввиду минимальный (мгновенный) ночной расход $q_{ноч}$) используется скрытая утечка в ночное время по всей зоне водоснабжения $\sum q_{ут\ ноч}$:

$$q_{ут} = \sum q_{ут\ ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (4)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\sum q_{\text{ут ноч}} = q_{\text{з ноч}} - \sum q_{\text{ж ут}} - \sum q_{\text{па ноч}},$$

где: $q_{\text{з ноч}}$ – мгновенный ночной расход зоны водоснабжения;

$\sum q_{\text{ж ноч}}$ (видимо, подразумевается $\sum q_{\text{ж ут}}$) – общие ночные утечки в жилых домах:

$$\sum q_{\text{ж ноч}} = q_{\text{ж ноч}} \cdot N_{\text{ж}},$$

$N_{\text{ж}}$ – количество жителей в зоне водоснабжения.

Величина $q_{\text{ж ноч}}$ устанавливается по статистически достоверной выборке домов, принятой для системы коммунального водоснабжения.

$\sum q_{\text{па ноч}}$ – ночные расходы прочих абонентов, полученные на основе замеров или обработки статистических данных о водопотреблении;

Определение суточной скрытой утечки

Получение приведенной выше формулы (3) описано в работах [2, 6]. Там же приводится приближенная формула, не учитывающая колебание напора на вводе в здание, для определения величины утечки:

$$Q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = 21(q_{\text{н}}^{\text{факт}} - q_{\text{н пол}})N, \text{ л/сут}, \tag{5}$$

где: $q_{\text{н}}^{\text{факт}}$ – фактический удельный ночной (с 1 до 5 ч) расход, л/(ч·чел);

$q_{\text{н пол}} = 0{,}2$ – величина полезного водопотребления в ночные часы, л/(ч·чел);

N – число жителей в жилом здании (районе), чел.

В работе [7] величина утечки определяется по формуле:

$$Q_{\text{у}} = (14{,}4\text{x}15{,}1)\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут},$$

где q_4 – расход между тремя и четырьмя часами, м^3/ч;

U – число жителей.

В скобках указан интервал, значение коэффициента зависит от числа квартир. При числе квартир более 250 формула определения утечки имеет вид:

$$Q_{\text{у}} = 14{,}4\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут}, \tag{6}$$

В работах [8, 9] оценка суточной величины утечек воды в жилом доме современного благоустройства производится по следующим формулам:

при переменном давлении на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{4}(q_{\text{фi}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +\sum_{i=5}^{24}(4{,}02\cdot H_i^2 + 0{,}29\cdot H_i)\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{7}$$

при наличии регуляторов давления на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}4(q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +20(4{,}02\cdot H_{\text{ср}}^2 + 0{,}29\cdot H_{\text{ср}})\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{8}$$

где К – коэффициент, ограничивающий возможное завышение величин утечек воды:

$$K = \frac{q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}}{q_{\text{ср}}^{\text{н}}},$$

$q_{\text{фi}}^{\text{н}}$ – фактический удельный расход воды в ночные часы суток от 1 до 5 ч, л/(ч·чел);

$q_{\text{п}}^{\text{н}}$ – полезный расход воды в ночные часы суток, л/(ч·чел);

H_i – давление на вводе, МПа;

$H_{\text{ср}}$ – среднее значение давления, МПа;

N – количество квартир в доме;

U – количество жителей в доме.

Следует заметить, что в методиках определения утечек воды по ночному минимальному расходу [5, 6], период минимального расхода считается с 0^{00} до 5^{00}. При замерах средний расход с 0^{00} до 5^{00} составил 2,17 л/(ч·чел), а с 2^{00} до 5^{00} – 1,35 л/(ч·чел). Разница составляет 0,82 л/(ч·чел) (или 61 %), что при определении размера утечки по этим методикам даст значительное завышение результата. В

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

методиках полезный ночной расход считается 0,2 л/(ч·чел), что в 10,9 раза меньше среднего ночного расхода, полученного при замерах.

Для вывода формулы для определения размера утечки рассмотрен случай, когда повысительная насосная станция подает воду в жилой дом. Наиболее характерными периодами водопотребления считаются два периода: ночной (с 1 до 5 часов ночи) и дневной (остальные 20 часов). Ночной период характеризуется наименьшим полезным водопотреблением и максимальными избыточными напорами в сети. Для дневного периода характерны большие часовые расходы и меньшее избыточное давление.

Размер утечки изменяется пропорционально изменению квадратного корня из давления в месте утечки [5, 10].

$$q^{ут} = м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где м – коэффициент расхода,

$\sum щ$ – сумма площадей поперечного сечения отверстий,

g – ускорение свободного падения, м/с^2,

H – напор в месте утечки.

Выразим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки через давление в сети:

$$К_н^{ут} = \frac{q_н^{ут}}{q_{ср}^{ут}} = \frac{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_н}}{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{ср}}} = \sqrt{\frac{H_н}{H_{ср}}},$$

где $q_н^{ут}$ – ночная (с 1 до 5 часов) утечка, м^3/ч;

$q_{ср}^{ут}$ – среднечасовая суточная утечка, м^3/ч;

$H_н$ – средний напор в сети в ночное время (с 1 до 5 часов), м;

$H_{ср}$ – средний в течение суток напор, м.

Подачу насосной станции в ночное время $q_н^{НС}$, м^3/ч, запишем как сумму ночного водопотребления и ночной утечки:

$$q_н^{НС} = q_н^{дом} + q_н^{ут} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $q_н^{дом}$ – среднечасовое ночное (с 1 до 5 часов) потребление дома, м^3/ч.

Выразим ночные расходы через среднечасовые расходы и ночные коэффициенты часовой неравномерности:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot q_{ср}^{дом} + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут},$$

где $К_н^{НС}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности подачи насосной станции;

$К_н^{дом}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности потребления дома;

$К_н^{ут}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности утечки.

Представим среднее водопотребление как разность средней подачи насосной станции и средней утечки:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot (q_{ср}^{НС} - q_{ср}^{ут}) + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут}.$$

Выразим величину среднечасовой утечки:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{К_н^{ут} - К_н^{дом}}.$$

Подставим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки выраженный через давление:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{H_н / H_{ср}} - К_н^{дом}}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Умножая обе стороны равенства на 24, получим формулу для определения размера суточной утечки:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{Н_н/Н_{ср}} - К_н^{дом}}, \quad (9)$$

где $Q^{ут}$ – суточная утечка из водопроводной сети, м^3/сут;

$Q^{НС}$ – суточная подача насосной станции, м^3/сут.

Если насосная станция подает воду в группу однотипных жилых домов, то в формуле вместо среднечасового ночного потребления дома нужно подставить сумму ночного потребления всех домов, что не влияет на конечный результат (9).

Для насосных станций с частотно регулируемым приводом насосов давление в сети остается постоянным, а формула (9) имеет вид:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{1 - К_н^{дом}} \quad (10)$$

В качестве ночного коэффициента часовой неравномерности для жилых домов рекомендуется использовать величину, характерную для жилых домов с данной степенью благоустройства, определенную на основании статистической обработки ряда натурных измерений.

Если уравнения (9) и (10) составить относительно ввода в дом, т.е. определять размер утечек, сравнивая динамику прохождения воды через ввод и потреблением воды, характерным для дома без утечек, вместо напора нужно использовать эффективный напор:

$Н_{эф}=Н_{вв}-0,5Н_{зд}$

где $Н_{вв}$ – напор на вводе в здание, м;

$Н_{зд}$ – высота здания, м.

Формулы для определения утечек в доме имеют вид:

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{\sqrt{Н_{эф\,н}/Н_{эф\,ср}} - К_н^{мин}} \quad (11)$$

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{1 - К_н^{мин}}, \quad (12)$$

где $К_н^{мин}$ – ночной коэффициент часовой неравномерности, характерный для жилых домов с данной степенью благоустройства при отсутствии утечек;

$Н_{эф\,н}$, $Н_{эф\,ср}$ – средние эффективные напоры в ночное время и в течение суток соответственно.

Для применения представленных формул (11) и (12) является важным определение $К_н^{мин}$. При натурных замерах в четыре домах с одинаковой степенью благоустройства в разных районах города ночной коэффициент часовой неравномерности изменялся от 0,25 до 0,40 (табл. 1). С другой стороны, принимая по литературным данным полезный ночной расход 0,2 л/(ч·чел) при полезном удельном суточном водопотреблении $Q^{мин}$ = 200 л/(ч·чел), коэффициент $К_н^{мин}$ составит 0,024, при $Q^{мин}$ = 250 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,019, $Q^{мин}$ = 300 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,016.

В [11] говорится, что ночной расход при отсутствии утечек меньше 1 % $Q_{сут}$. Следовательно, коэффициент часовой неравномерности меньше 0,24.

Определить размер коэффициента $К_н^{мин}$, а также размер полезного суточного водопотребления $Q^{мин}$ можно способом которым определены коэффициенты для формулы (3). Согласно [2] значения эмпирических коэффициентов, которые не могут быть непосредственно измерены, могут быть рассчитаны на основе результатов экспериментов. Методически расчет $К_н^{мин}$ базируется на гипотезе, что в однотипных многоквартирных жилых зданиях, расположенных в одной климатической зоне, удельное суточное водопотребление должно быть примерно равным. Разница в суточном водопотреблении объясняется главным образом утечками воды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как следует из выражения (11), рассчитываемая величина утечки воды $Q^{ут}$ будет изменяться при варьировании значения $К_н^{мин}$. Правильность выбора этого значения оценивается по приведенным расходам воды $Q_{пр}$, которые представляют собой разность между фактическим водопотреблением в здании (измеренный суточный расход) и рассчитанной по выражению (11) величиной утечки воды:

$$Q_{пр} = Q^{дом} - Q^{ут}.$$

Разброс значений вычисленных таким образом приведенных расходов воды для достаточно широкой выборки жилых зданий будет тем меньше, чем правильнее будет выбрано численное значение $К_н^{мин}$. Критерием правильности выбора значений $К_н^{мин}$ следует принять минимум коэффициента вариации приведенных расходов воды для соответствующих выборок зданий $V[S(Q_{пр})/M(Q_{пр})]$. Принятый критерий является одновременно функцией как среднего значения $M(Q_{пр})$, так и дисперсии (среднеквадратичного отклонения) $S(Q_{пр})$ этой величины. Использование этого критерия позволяет обоснованно наложить ограничения на снижение среднего по выборке значения приведенного удельного суточного расхода, чего не удается сделать, если за критерий правильности выбора величины $К_н^{мин}$ принять минимальное значение дисперсии приведенных расходов воды.

В городе Самара в 2008-09 гг. были выполнены замеры расходов холодной воды в ряде жилых домов. Все дома имеют одинаковую степень благоустройства. В таблице 1 приведены результаты определения размера утечки по предложенной формуле при разных коэффициентах $К_н^{мин}$.

Таблица 1

Зависимость величины утечки от $К_н^{мин}$

Объект	$К_н^{дом}$	$Q^{ут}$ в процентах от $Q^{дом}$ при $К_н^{мин}$					
		0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
Дом 1	0,40	25,0	24,1	23,1	22,1	21,1	20,0
Дом 2	0,27	8,8	7,6	6,4	5,2	3,9	2,7
Дом 3	0,25	6,3	5,1	3,8	2,6	1,3	0,0
Среднее значение	0,31						

Также были выполнены замеры расходов и напоров на нескольких повысительных насосных станциях, подающих воду в группы однотипных жилых домов.

Для сравнения представленных методик определения размера утечек воды были использованы графики подачи воды и изменения давления 11-и повысительных насосных станций и 3-х жилых домов. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Потеря воды во внутриквартальных сетях (в числителе в л/(сут·чел) в знаменателе в % от суточной подачи насосной станции)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	$К_н^{НС}$	Формула расчета		
			(1)	(2)	(9, 10)
НС 1	341,7	0,53	179,5 52,4	164,3 48,1	106,5 31,2
НС 2	259,1	0,62	126,3 48,7	117,0 45,1	114,2 44,1
НС 3	363,1	0,58	-	188,9 52,0	141,8 39,1
НС 4	383,3	0,62	-	203,6 53,1	172,5 45,0
НС 5	349,4	0,53	-	154,2 44,1	110,7 31,7
НС 6	338,4	0,54	-	158,2 46,8	112,7 33,3
НС 7	337,4	0,66	-	70,7 21,0	171,8 50,9
НС 8	345,3	0,62	-	147,8 42,8	143,5 41,6

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

НС 9	364,6	0,54	-	171,9 47,1	118,4 32,5
НС 10	311,9	0,50	-	78,1 25,0	83,5 26,8
НС 11	299,1	0,58	-	159,2 53,2	116,9 39,1

Таблица 3

Потеря воды в зданиях (в числителе в л/(сут·чел)
в знаменателе в % от суточного потребления дома)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	Формула расчета					
		(2)	(3)	(5)	(6)	(7, 8)	(11, 12)
Дом 1	162,5	-	-	52,1 32,0	17,0 10,5	27,7 13,4	34,2 21,1
Дом 2	222,1	32,8 14,8	28,7 12,9	46,8 21,1	26,6 12,0	21,5 9,7	5,2 3,9
Дом 3	224,9	11,8 5,2	10,3 4,6	45,1 20,0	30,9 13,7	17,7 7,9	2,9 1,3

Для формул (9) и (10) принято $K_н^{дом}$ =0,31, для формул (11) и (12) принято $K_н^{мин}$ =0,24.

Дом 1 получает воду от НС 1.

Для расчетов по формулам (7), (8) заселенность квартир принята равной 3 чел/кв.

Предложенная в статье методика имеет ряд преимущественных отличий от других методов.

Во-первых, использование ночного расхода (с 1 до 5 часов) для определения размера утечки предпочтительнее минимального часового и, тем более, минимального мгновенного расхода. Это объясняется тем, что на практике возможны случаи, при которых счетчики, установленные в домах, работают в условиях, значительно отличающихся от тех, при которых допускают минимальную погрешность [12, 13]. Для определения минимального мгновенного расхода требуется наличие соответствующего оборудования.

Во-вторых, не используется такая величина, как полезное ночное водопотребление, значение которой (0,2 л/(ч·чел)) было определено более сорока лет назад и требует уточнения в современных условиях. Помимо этого, в разных методиках с этой величиной сравниваются разные величины: средний ночной расход, минимальный часовой расход и минимальный мгновенный расход. Фактический ночной расход, помимо полезного потребления и утечек, содержит непроизводительные потери, которые согласно этим методикам относятся к утечкам. Не требуется информация о числе жителей в районе, обслуживаемом насосной станцией, и в каждом доме.

В-третьих, для определения коэффициентов неравномерности возможно использование накладных расходомеров, применение которых на действующих сетях для измерения расхода воды затруднено изменением живого сечения труб.

Выводы

Предложена методика определения размера утечек воды по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода.

Возможно определение потери воды, как из зоны подачи повысительной насосной станции, так и в отдельных домах.

Описанная методика имеет ряд принципиальных отличий от общеизвестных.

Определение размера утечки из зоны подачи повысительной насосной станции возможно на основании замеров только на насосной станции и ночного коэффициента часовой неравномерности, характерного для жилых домов с данной степенью благоустройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по борьбе с утечками и потерями воды на городских водопроводах. – М.: Стройиздат, 1973. – 80 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Кожинов И.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 348. с.: ил.
3. Инструкция по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Постановлением Госстроя России от 31 марта 2000 г.
4. Сапожников М.М. Борьба с утечкой воды из водопроводов. – М.: МКХ РСФСР, 1958.
5. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Приказом Минпромэнерго России от 20 декабря 2004 г. № 172.
6. Майзель М.П., Кожинов И.В., Доброводьский Р.Г. и др. Оценка величины утечек воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 8. – С. 6-9.
7. Гейнц В.Г., Обельченко И.О. Об определении размеров утечек в водопроводах жилых зданий // Сб. трудов НИИ санитарной техники «Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы и арматура». – М., 1974, № 43. – С. 129-138.
8. Свинцов А.П. Гидравлические и технологические основы водосбережения в жилищном фонде. Автореф. дис. … докт. техн. наук. – М., 2003. – 36 с.
9. Свинцов А.П., Скотников Ю.А. Пути устранения потерь воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1988, № 1. – С. 22-23.
10. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 424 с., ил.
11. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Водомеры для водопроводов и канализации. Изд. 3-е, исправ. и доп. – М.: Стройиздат, 1964. – 150 с.
12. Свинцов А.П. Приборный учет количества использованной водопроводно-канализационной продукции в жилых зданиях // Сантехника, 2006, № 4.
13. Свинцов А.П. Реализация продукции водопроводно-канализационных предприятий на рынке жилищного фонда: Монография. – М., 2007. – 269 с.: ил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 504.064.38
О.Р. Каратаев – кандидат технических наук, заведующий лабораторией
E-mail: oskar_karataev@mail.ru
ООО «Гидротехсервис»

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕД ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

АННОТАЦИЯ

В работе обсуждается проблема экологической безопасности плавательных бассейнов и предлагаются пути её решения. Для решения проблемы обеспечения экологической безопасности плавательных бассейнов предлагается к внедрению «Автоматизированная система комплексного управления технологией водоподготовки, основанная на анализе загрязняющих веществ водной и воздушной сред плавательного бассейна».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экологические проблемы, водоподготовка, воздухообмен, экологическая безопасность, гигиенические нормативы, автоматизированная система, пробоотбор и пробоподготовка.

O.R. Karataev – candidate of technical sciences, head of laboratory
Limited Liability Company «HYDROTECHSERVIS»

THE AUTOMATED ANALYSIS SYSTEM OF POLLUTING SUBSTANCES OF WATER AND AIR MEDIUMS OF A SWIMMING POOL

ABSTRACT

The research is discussing the problem of ecological safety of swimming pools and offering the ways of its decision. To solve a problem of ecological safety provision of swimming pools «The automated analysis system of polluting substances of water and air mediums of a swimming pool» is offered.

KEYWORDS: environmental problems, water-conditioning, interchange of air, ecological safety, the hygienic specifications, automated system, sampling, sampling and preparation.

Анализ комплекса экологических проблем плавательных бассейнов требует создания системы экологической безопасности, в рамках которой основное значение имеют мониторинг критических экологических факторов антропогенного воздействия и прогноз ее будущего развития. Данную проблему невозможно решить без современного аналитического оборудования, позволяющего за короткий промежуток времени осуществить контроль содержания загрязняющих веществ в окружающей природной среде [1].

Одним из относительно экологически опасных объектов культурно-бытового назначения является закрытые плавательные бассейны, которые относятся к категории помещений с влажным режимом. Они имеют отличительные особенности, заключающиеся в формировании в них тепловых и влажностных потоков, которые определяют выбор того или иного технического решения по обеспечению требуемых санитарно-гигиенических условий эксплуатации плавательных бассейнов.

В технической литературе [2-5] имеются данные для расчета тепло- и влаговыделений, воздухообмена и способов обработки воздуха в плавательных бассейнах. Меньше внимания уделяется способам контроля воздухообмена и прогнозированию параметров воздуха в закрытых пространствах данных объектов. Высокая чистота воздушной среды является одним из факторов экологической безопасности и комфортности для посетителей залов крытых бассейнов.

Для исключения формирования в залах аквапарков агрессивной среды необходимо применять системы водоподготовки бассейнов и обеспечивать воздухообмен, при котором достигается ассимиляция выделений агрессивных химических веществ, таких как: свободный хлор, хлороформ, метиленхлорид, четыреххлористый углерод и другие [6-7].

Обеспечение экологической безопасности водной и воздушной сред в залах аквапарков является весьма сложным вопросом, решение которого непосредственно связано с выбором типа плавательного бассейна и технологического способа обеззараживания воды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При эксплуатации плавательных бассейнов происходит постоянное выделение свободного хлора и его органических производных с водной поверхности в воздушную среду залов аквапарков с различной степенью интенсивности.

Выделяющийся свободный хлор является расчетной «вредностью» (так же, как и влаговыделения), которая используется для оценки необходимого воздухообмена в залах аквапарков, а значение концентрации хлора в их воздушной среде является показателем ее чистоты и неагрессивности. В соответствии с гигиеническими нормативами [8] предельно допустимые концентрации хлора в атмосферном воздухе населенных пунктов составляют следующие значения: максимально разовая – 0,1 мг/м^3, среднесуточная – 0,03 мг/м^3.

При таких требованиях к допустимой концентрации хлора и его производным должен быть предусмотрен систематический контроль за содержанием его в воздухе. Однако в СанПиН [5, 8] такой контроль не предусматривается. Контроль за содержанием хлора и его органических производных в воздушной среде залов плавательных бассейнов рекомендуется осуществлять только в следующих случаях [7]:

- при концентрации хлороформа в бассейновой воде более 0,2 мг/л;
- при наличии жалоб посетителей на «микроклиматические условия» в зоне дыхания пловцов.

Поэтому разработка и совершенствование приборов и методов, позволяющих осуществлять контроль за достаточным воздухообменом систем вентиляции залов для ассимиляции вредных веществ, выделяющихся с водных поверхностей бассейнов, является актуальной задачей. Для решения этой проблемы необходимо создать систему локального комплексного контроля за содержанием загрязняющих веществ непосредственно на объектах культурно-бытового назначения [9-10].

Для решения этой проблемы нами была разработана «Автоматизированная система комплексного анализа загрязняющих веществ водной и воздушной сред плавательного бассейна» (рис. 1).

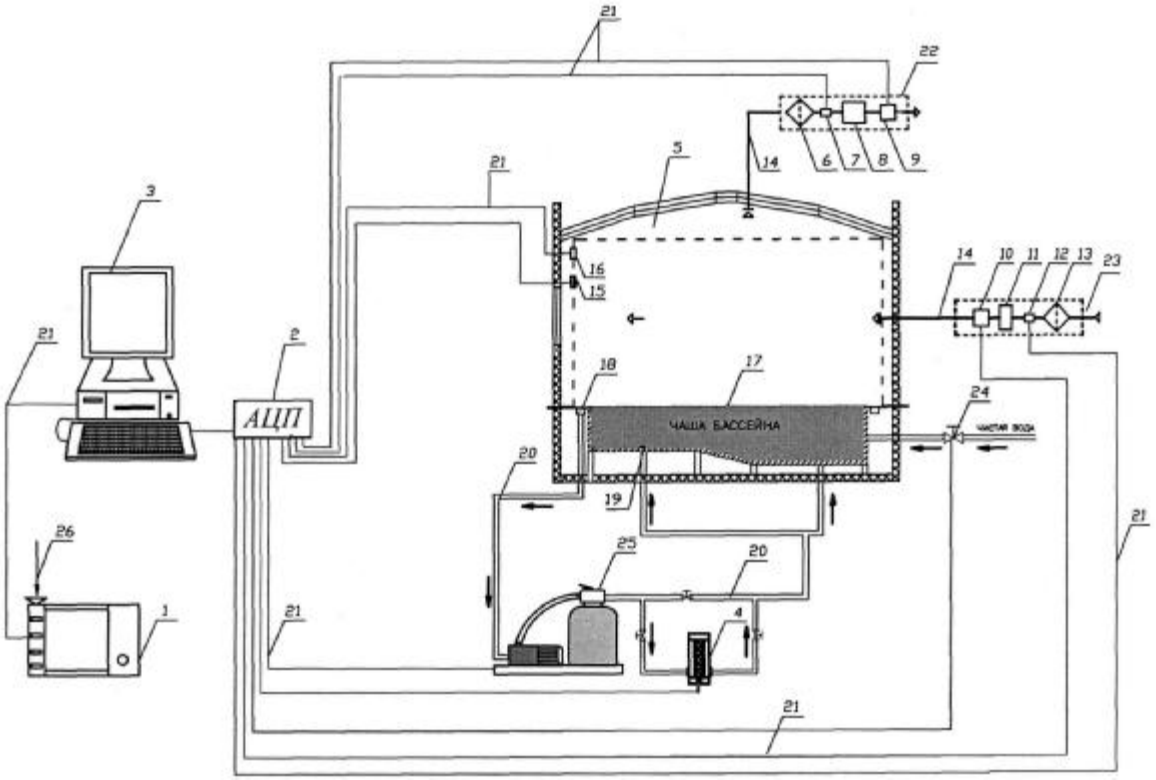


Рис. 1. Автоматизированная система анализа загрязняющих веществ водной и воздушной сред плавательного бассейна

1 – газовый хроматограф; 2 – аналогово-цифровой преобразователь; 3 – компьютер; 4 – система хлорирования воды; 5 – помещение плавательного бассейна; 6 – фильтр вытяжного воздуха; 7 – газовый счетчик; 8 – охладитель вытяжного воздуха; 9 – вытяжной вентилятор; 10 – приточный вентилятор; 11 – водяной калорифер; 12 – счетчик расхода приточного воздуха; 13 – фильтр наружного воздуха; 14 – воздуховод; 15 – датчик контроля влажности; 16 – датчик контроля температуры; 17 – чаша плавательного бассейна; 18 – система забора воды из бассейна; 19 – форсунки подачи воды; 20 – трубопровод; 21 – электрическая связь; 22 – вытяжная вентиляционная установка; 23 – приточная вентиляционная установка; 24 – электрическая задвижка подачи водопроводной воды; 25 – система фильтрации воды; 26 – система ввода пробы

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Контролируемыми параметрами в помещениях бассейнов являются температура, относительная влажность воздуха, интенсивность испарений с водной поверхности чаши плавательного бассейна, а также концентрация вредных веществ, содержащихся в водяных парах. Нормируемая относительная влажность внутреннего воздуха ($ц_в$) в помещениях плавательных бассейнов принимается в соответствии со СниП 2.08.02-89* равной 50-65 %, но конкретное ее значение в каждом отдельном случае диктуется степенью защиты ограждающих конструкций. Сигналы от датчика температуры внутреннего воздуха и от датчика влажности поступают на блок управления. В случае превышения показателей, если влажность более 65 %, а температура воздуха выше температуры воды более чем на 2 ^{o}С, сигнал с блока управления автоматически подается на оборудование, регулирующее воздухопроизводительность системы (приточная и вытяжная вентиляция). В помещении бассейна предусмотрены системы приточной и принудительной вентиляции. Подача приточного воздуха осуществляется вертикальными струями, направленными снизу вверх (рис. 1). Удаление воздуха предусмотрено вытяжной системой из верхней зоны над бассейном.

В таблице 1 приведены санитарно-химические исследования воды плавательных бассейнов.

Таблица 1

Санитарно-химические исследования воды плавательного бассейна, до очистки и после

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Результаты анализа		Норматив ПДК по СанПиН с 2.1.4.1074-01
			До очистки	После очистки	
1	2	3	4	5	6
Органолептические показатели:					
1	Запах при 20 град	баллы	0,04	0	не более 2
2	Привкус	баллы	0,03	0	не более 2
3	Цветность	градусы	0,95	менее 0,5	не более 20
4	Мутность	ЕМФ	7,75	менее 0,2	не более 2,6
5	Жесткость	мг-экв/л	0,011	0,1	не более 0,7
	Щелочность	мг-экв/л	менее 0,015	0,24	не норм.
6	Водородный показатель (pH), в пределах	единицы	менее 0,01	6,2	6,0-9,0
7	Общая минерализация (сухой остаток), в пределах	мг/л	менее 0,0005	29	не более 1000
8	Фторид-ион	мг/л	менее 0,001	менее 0,04	не более 1,5
9	Иодид-ион	мкг/л	менее 0,0003	менее 30	не более 125
10	Бикарбонаты	мкг/л	менее 0,0001	12	не норм.
Галогены:					
11	Хлор остаточный связанный	мг/л	0,04	0,03	0,8 – 0,12
12	Хлор остаточный свободный	мг/л	0,03	0,03	0,3 – 0,5
13	Окисляемость перманганантная	мг O_2/л	0,95	менее 0,02	не более 5,0
14	Аммиак и аммоний-ион	мг/л	7,75	0,026	не более 1,5
15	Нитриты (по NO_2)	мг/л	0,011	менее 0,003	не более 3,0
16	Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	менее 0,015	менее 0,015	не более 0,50
17	Нефтепродукты суммарно	мг/л	менее 0,05	менее 0,01	не более 0,30
18	Фенолы летучие	мкг/л	менее 0,0007	менее 0,0005	не более 0,001
19	Хлороформ	мкг/л	менее 0,010	менее 0,005	не более 0,20
20	Дибромхлорметан	мкг/л	менее 0,0003	менее 0,0003	не более 0,03
21	Четырехлористый углерод	мкг/л	менее 0,0003	менее 0,0001	не более 0,006

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выводы

Таким образом, разработанная система комплексного анализа загрязняющих веществ водной и воздушной сред закрытых плавательных бассейнов позволяет осуществлять регулярный контроль за концентрацией загрязняющих веществ и воздействовать на технологический процесс водоподготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ФГУП ЦНС, 2004. – С. 54.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч.: В.Н. Богословский и др. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика. Кн. 1. – М.: Стройиздат, 1992. – С. 319.
3. Самарин О.Д., Семенюк О.Л., Богомолова И.А. О комбинированной обработке воздуха в системах вентиляции и кондиционирования // С.О.К., 2006, № 6. – С. 102-105.
4. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И. Помещения плавательных бассейнов: прогнозирование микроклимата в обслуживаемых зонах // С.О.К., 2006, № 8. – С. 5-8.
5. СанПиН 2.1.2.1331-03 «Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды аквапарков».
6. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. – М.: Изд-во «Химия», 1980.
7. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. – М.: Изд-во «Химия», 1991.
8. СанПиН 2.1.2.1188-03 «Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества».
9. Каратаев О.Р. Регенератор воды плавательных бассейнов. Патент Российской Федерации на изобретение № 2223924, зарегистр. 7 октября 2002 г.
10. Каратаев О.Р., Гиззатуллин А.Р., Чикляев Е.Г. Устройство экологического мониторинга // Патент Российской Федерации на полезную модель № 53183, БИ № 13 10.05.2006.
11. Каратаев О.Р., Перикова Е.С., Славнин С.В., Каратаев Р.Н. Устройство контроля содержания озона // Патент России на полезную модель ПМ № 62838, БИ № 13 10.05.2007.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.161.2
А.В. Коряйкина – аспирант
Р.И. Аюкаев – доктор технических наук, профессор
E-mail: anna0@drevlanka.ru
Петрозаводский государственный университет

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

АННОТАЦИЯ

Традиционные методы очистки высокоцветных маломутных вод из природных водоисточников в ряде случаев не обеспечивают получение питьевой воды надлежащего качества или способствуют значительному увеличению стоимости строительства и эксплуатации водоочистных комплексов.

В статье рассматриваются возможности использования альтернативных методов (биологических методов: медленная фильтрация, биосорбция) для обесцвечивания природных вод. Приводятся некоторые результаты комплекса фильтрационных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка высокоцветных природных вод, биологические методы очистки, медленная фильтрация, биосорбция.

A.V. Koryaykina – post-graduate student
R.I. Ayukaev – doctor of technical sciences, professor
Petrozavodsk State University

APPLICATION OF BIOTECHNOLOGIES FOR CLEARING OF COLOUR NATURAL WATERS FROM SUPERFICIAL SOURCES IN THE CONDITIONS OF THE NORTH

ABSTRACT

Traditional methods of clearing of colour natural waters in some cases do not ensure reception of qualitative potable water. In article possibilities of use of alternative methods for decolouration of natural waters are considered. Some results of laboratory researches are also presented in given article.

KEYWORDS: clearing of colour natural waters, biological methods of clearing.

В настоящее время в республике Карелия для целей питьевого водоснабжения используется вода, главным образом, из поверхностных источников. Основными источниками водоснабжения в республике являются Онежское озеро, озера Среднее Куйто, Исо-Пюхяярви, Паново, Пряжинское, Сямозеро, Ведлозеро, реки Суна, Муезерка, Лендерка. Согласно данным исследований, проведенных сотрудниками Карельского научного центра [1], для 55 % территории республики характерны воды со значительным содержанием гумусовых веществ, достаточно высокой цветностью (до 160 градусов платино-кобальтовой шкалы (єПКШ)) и перманганатной окисляемостью (8-30 мгО/л).

Гумусовые вещества, обуславливающие высокую цветность природных вод Карелии, представляют собой сложную смесь высокомолекулярных биохимически устойчивых соединений.

В поверхностных водах гумусовые вещества могут находиться в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Соотношение между ними, как правило, определяется химическим составом воды, ее pH. В кислых водах возможно существование свободных форм гуминовых и фульвокислот. В низкощелочных карельских водах гумусовые вещества в результате взаимодействия с двухвалентными ионами кальция и магния образуют нерастворимые соединения, что способствует еще большему увеличению цветности воды.

Для очистки высокоцветных маломутных поверхностных вод Карелии используют реагентные методы очистки только на водопроводных очистных сооружениях (ВОС) самых крупных водопотребителей: г. Петрозаводска и сравнительно молодого города горняков Костомукши, в подавляющем большинстве населенных пунктов (г. Беломорск, пос. Калевала, г. Кондопога, пос. Надвоицы) проводится только механическая очистка питьевой воды. ВОС отсутствуют вообще в г. Суоярви, Сортавала, Медвежьегорск, многих крупных поселках и практически во всех малых населенных

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

пунктах республики. В условиях Карелии реагентный способ обесцвечивания воды достаточно трудоемкий. Природные воды Карелии содержат устойчивые органические комплексы, коллоидные примеси, характеризуются недостаточным щелочным резервом, длительным периодом низких температур. В этих условиях коагуляция протекает неудовлетворительно, требует подщелачивания. Образующиеся хлопья гидроксида алюминия (железа) рыхлые, плохо оседают, в холодный период времени процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются. Все это ведет к перерасходу реагентов, повышению гидравлической нагрузки на очистные сооружения, увеличению концентрации остаточного алюминия в обработанной воде (гуминовые и фульвокислоты устойчивы по отношению к электролитам из-за высокой гидрофильности).

В этом контексте представляют интерес альтернативные биологические методы, основанные на использовании микроорганизмов-деструкторов загрязняющих веществ, иммобилизованных на носителях [3].

Исследования в этом направлении проводятся в Петрозаводском государственном университете. На начальном этапе исследований ставилась задача оценить принципиальную возможность применения биологических методов очистки для обработки природных высокоцветных вод. В этом смысле особый интерес представляла технология медленного фильтрования – относительно простая, недорогая и достаточно эффективная в конструктивном оформлении водоочистных сооружений.

В результате первого этапа экспериментов выяснилось, что при малых скоростях фильтрации (до 0.2 м/ч) имеет место устойчивый эффект снижения цветности, который может быть востребован на сооружениях небольшой производительности.

Наиболее крупные загрязнения задерживаются на мелкозернистой фильтрующей загрузке, заклиниваясь в порах, и сужают их сечение. Благодаря этому на поверхности и в порах первых по потоку жидкости слоев загрузки задерживаются все более и более мелкие загрязнения, коллоиды и бактерии. На поверхности загрузки фильтра образуется тонкая фильтрующая пленка. Задержанные пленкой бактерии и органические вещества обуславливают возникновение в ней биологических процессов, в том числе и развитие низших микроорганизмов, поглощающих бактерии. Зерна песка обрастают студенистой массой, которая является хорошим сорбентом.

Массоперенос вещества у поверхности биопленки носит сорбционно-адгезионный характер, определяемый биологическими особенностями системы, а также силами, связанными с электрическим зарядом взаимодействующих частиц. В этом смысле проявляется некоторое сходство между медленным фильтрованием и обработкой воды в полноценном биосорбционном реакторе. В обоих случаях имеет место сорбция растворенных органических загрязнений на поверхности биопленки с последующим их окислением. Различие заключается в масштабности протекающих процессов и, соответственно, в возможностях их интенсификации.

В биопленке с сорбированным веществом процесс очистки лимитируется скоростью гидролиза, а также пористостью среды. При этом имеет место эффект биологического саморегулирования – бактерии перемещаются в зону высоких концентраций субстрата. Это приводит к возникновению активного верхнего слоя биопленки. Как следствие, степень очистки возрастает быстрее при увеличении числа небольших по высоте секций, нежели при увеличении высоты слоя загрузке в одной большой секции.

Особый интерес представляет возможность развития на биологической пленке сообщества микроорганизмов – деструкторов гуминовых веществ. Биологическая фильтрующая пленка, которая является основным механизмом обесцвечения и осветления воды на медленных фильтрах, была изучена Оводовым В.С. [4]. Им, в частности, были установлены основные закономерности образования и развития биопленки. При фильтровании воды через песчаную загрузку с малыми скоростями первоначально образуется нижняя песчано-грязевая часть фильтрующей пленки. Ниже этого слоя частицы взвеси способны проникать на 8-10 см. После образования песчано-грязевого слоя загрязнения задерживаются на поверхности загрузки фильтра, образуя верхнюю рыхлую часть фильтрующей биологической пленки толщиной 4-10 мм. При дальнейшем фильтровании происходит уплотнение нижележащих слоев рыхлой части и образование уплотненной части пленки. И, наконец, формируется видимая биологическая пленка, в составе которой имеются минеральные и органические вещества, задержанные верхними слоями фильтра. Эта видимая часть, названная Оводовым В.С. «упругим ковром» [4], имеет мелкопористую структуру, в ней развиваются микроскопические водоросли и многочисленные бактерии различных видов.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Понятно, что образование фильтрующей пленки – достаточно сложный и длительный процесс. Период осветлительного созревания фильтра принято считать законченным, когда мутность фильтрата перестает превышать 1.5 мг/л. В условиях фильтрования маломутных высокоцветных Карельских вод продолжительность этого периода не превышала 15-20 минут.

Продолжительность периода бактерицидного созревания также зависит от мутности поступающей воды и, согласно исследованиям, проведенным Оводовым В.С. [4] и Аюкаевым Р.Р. [5], может составлять от 3 до 40 ч (рис. 1).

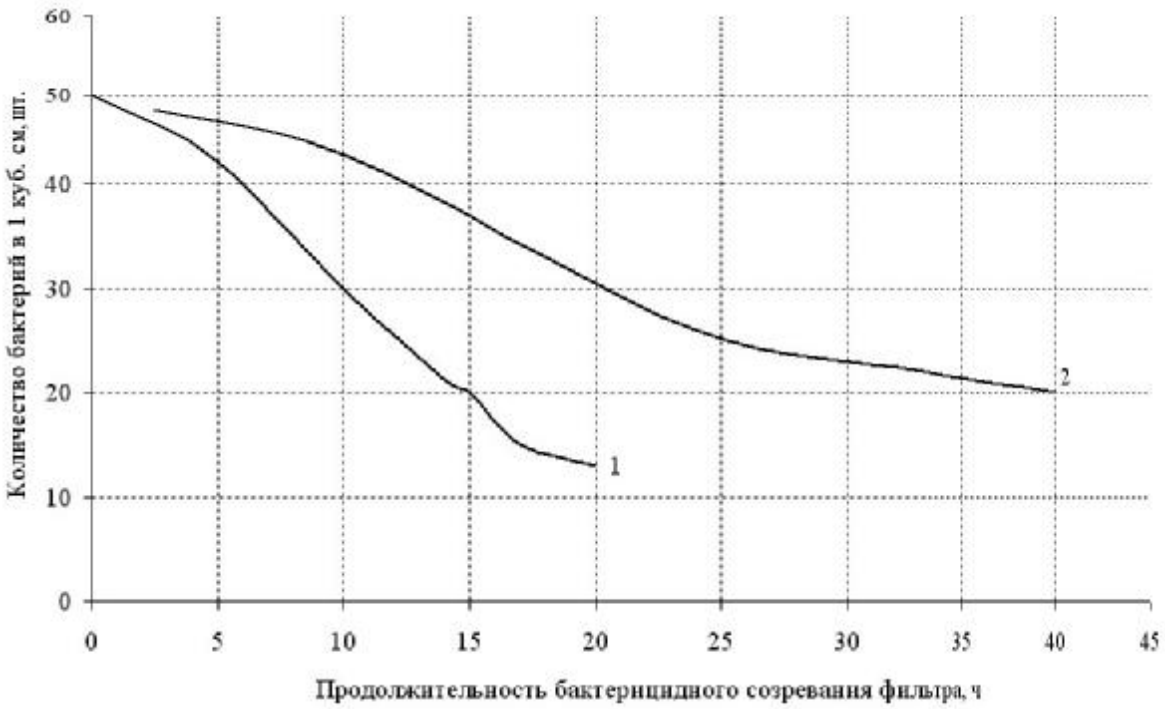


Рис. 1. 1 – данные исследований Оводова В.С., 2 – данные исследований Аюкаева Р.Р. (вода оз. Укшозеро, республика Карелия)

Перспектива использования медленного фильтрования для обесцвечивания природных вод исследована нами на секционной модификации медленного фильтра (рис. 2): слои песчаной загрузки небольшой толщины (1.5-4 см) разделены воздушными прослойками.

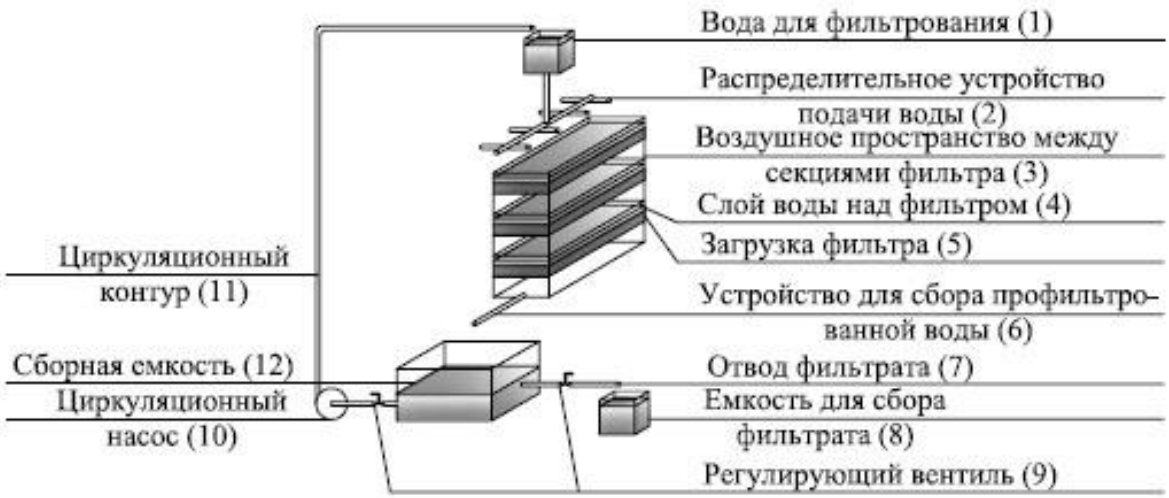


Рис. 2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Исходная вода из бака (1) подается в распределительное устройство первой секции фильтра (2), после чего последовательно проходит все три секции фильтрационной установки и подается в сборную емкость (12), откуда перекачивается в бак исходной воды циркуляционным насосом (10).

Продолжительность осветлительной и бактерицидной фаз созревания фильтра составляла около 12 ч. После созревания изучались возможности медленного фильтра в обесцвечивании воды. Пробы воды отбирались ежесуточно, продолжительность одной группы экспериментов составляла 15 сут. Скорость фильтрации варьировалась в интервале 0.1-0.2 м/ч. Цветность исходной воды составляла 120-140 єПКШ. Регулированием гидравлического сопротивления системы обеспечивался режим фильтрации, при котором слой воды над загрузкой в каждой секции составлял не менее 5 см. Температура исходной воды варьировалась от 5 до 20 є.

Эксперименты показали высокую эффективность медленных фильтров в обесцвечивании природной воды. Максимальная эффективность очистки достигала 70 % при цветности исходной воды 140 °ПКШ.

Возможности медленного фильтрования ограничены низкой удельной скоростью окисления и производительностью. На втором этапе исследований рассмотрены возможности одной из разновидностей «чистых» биосорбционных аппаратов.

В лабораторных условиях нами использовался простейший вариант установки, представляющей собой колонну с загрузкой из активированного угля, аэратор и распределительное устройство (рис. 3). Из сборной емкости циркуляционным насосом (5) исходная вода подавалась в аэрационную колонну (7), где насыщалась кислородом воздуха. Из емкости (1) вода поступала в фильтрационную колонну с активированным углем – биосорбер (2).

Механизм биосорбционного эффекта описан в работе [3]: при подаче воды активированный уголь начинает адсорбировать органические вещества, некоторые из которых служат субстратом для развития микроорганизмов; в течение некоторого времени эти микроорганизмы берут на себя на себя основную роль в процессе очистки, увеличивая срок службы сорбента.

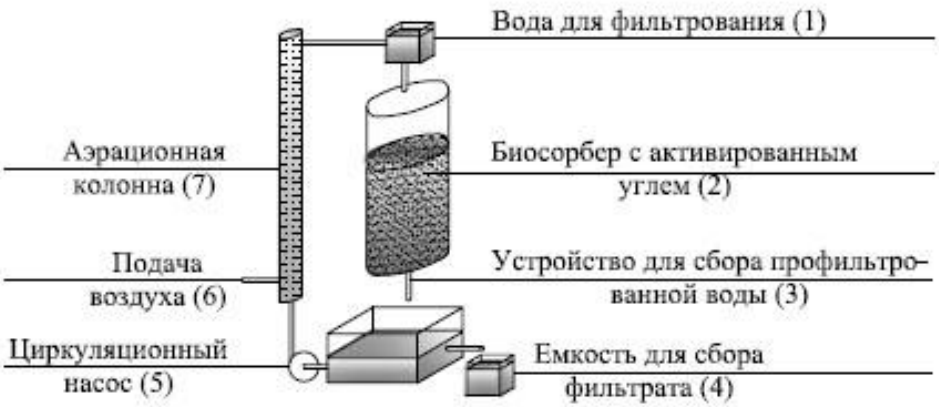


Рис. 3

Эксперименты на лабораторном биосорбере колонного типа (фильтрационной колонне) показали высокую эффективность очистки природной воды от трудноокисляемых органических загрязнений, обуславливающих ее цветность. По сравнению с технологией медленного фильтрования при примерно равных скоростях фильтрации удельная скорость окисления биосорбционной установки по показателю цветности увеличилась на порядок.

Для интенсификации процесса могут быть использованы модернизированные установки с прикрепленной биомассой, например, по типу дисковых биофильтров, отличающихся простотой изготовления, низкой энергоемкостью, простотой эксплуатации. На поверхности биодисков образуется слой, адсорбирующий поступающие загрязнения, при этом адсорбированные вещества хорошо удерживаются на этой поверхности, благодаря высокомолекулярным соединениям, синтезируемым микроорганизмами. С другой стороны, новый слой питательных веществ (адсорбированных загрязнений) притягивает к себе бактерии различных видов, находящихся во взвешенном состоянии. Кроме того, конструкция дисковых биофильтров позволяет реализовать такую модель существования биологических видов, как хищник-жертва, т.к. на каждой ступени очистки образуется свой биоценоз. Благодаря этому, возможно поедание микроорганизмов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

предыдущей ступени, выполняющих роль жертвы, микроорганизмами следующей ступени очистки, являющимися хищниками. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению количества отмирающей биопленки и, следовательно, к упрощению эксплуатации установки.

Лабораторные исследования продемонстрировали потенциальную возможность использования технологии медленного фильтрования и фильтрования на сорбенте для активизации биологических процессов обесцвечивания природных вод. Для количественной оценки процессов биологической очистки природных вод нами была использована обобщенная модель В.А. Вавилина [6]. В рамках модели удельная скорость биологической очистки описывается уравнением:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L^{n-p} \times L_0^p + L_e^n}, \qquad (1)$$

где L_0 – обобщенная характеристика загрязнения воды на входе, L_e – обобщенная характеристика загрязнения воды на выходе, X – средняя концентрация микроорганизмов, T – продолжительность обработки воды в реакторе, p_m – максимальная удельная скорость очистки, n, p, K_L – положительные константы.

Значения коэффициентов n, p_m, K_L зависят от типа очищаемой воды. Для многокомпонентных загрязнителей хорошим приближением является $p = n - 1$. В этом случае имеем:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L \times L_0^{n-1} + L_e^n}. \qquad (2)$$

Для трудноокисляемых многокомпонентных загрязнителей, обуславливающих цветность воды, удельная скорость биологической очистки неплохо описывается соотношением (2) при $n = 2$:

$$u = \frac{L_0 - L_e}{X \times T} = p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^2}{K_L \times L_0 + L_e^2}. \qquad (3)$$

Для математического описания процессов, протекающих в многосекционном медленном фильтре или биосорбционном реакторе колонного типа, органическую нагрузку будем выражать в $\left[\frac{L_0}{X \times T}\right] = \frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}$. Здесь $[X] = \frac{г}{л}$ – коэффициент нагрузки на единицу массы загрузки медленного фильтра или биосорбера.

По экспериментальным данным может быть построена зависимость $p = p(L_e)$ при фиксировании L_0 как параметра. Методами идентификации математических моделей определяются коэффициенты в модельном уравнении $p(L_e) = \frac{p_m \times L_e^n}{K_L^{n-p} \times L_0^p + L_e^n}$.

Графическая зависимость $p = p(L_e)$ для секционного медленного фильтра (скорость фильтрования 0.1-0.2 м/ч), обрабатывающего высокоцветные воды реки Шуя (республика Карелия) при $L_0 = 140\left(^0 ПКШ\right)$ и температуре 15єС, представлена на рис. 4.

Максимальная скорость обесцвечивания воды в секционном медленном фильтре составила $p_m = 1.1\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$. Методом Гаусса определено значение коэффициента $K_L = 34.6\left(^0 ПКШ\right)$ для уравнения (3).

Максимальная скорость процесса обесцвечивания p_m при медленном фильтровании, как показали лабораторные исследования, является функцией температуры (рис. 5). Для описания температурного эффекта рядом автором [3, 4, 6] предлагается использовать уравнение Аррениуса, из которого, в частности, следует:

$$p_m = p_{0m} \times k^{t - t_0}, \qquad (4)$$

где k – температурная поправка, p_{0m} – скорость процесса при некоторой фиксированной температуре t_0.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

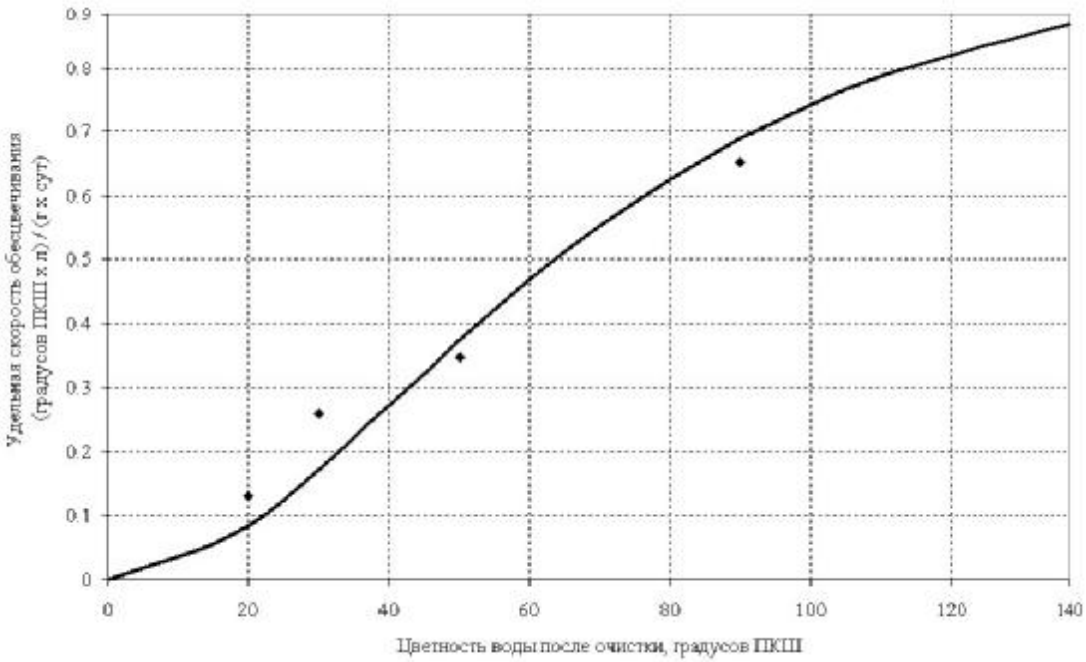


Рис. 4

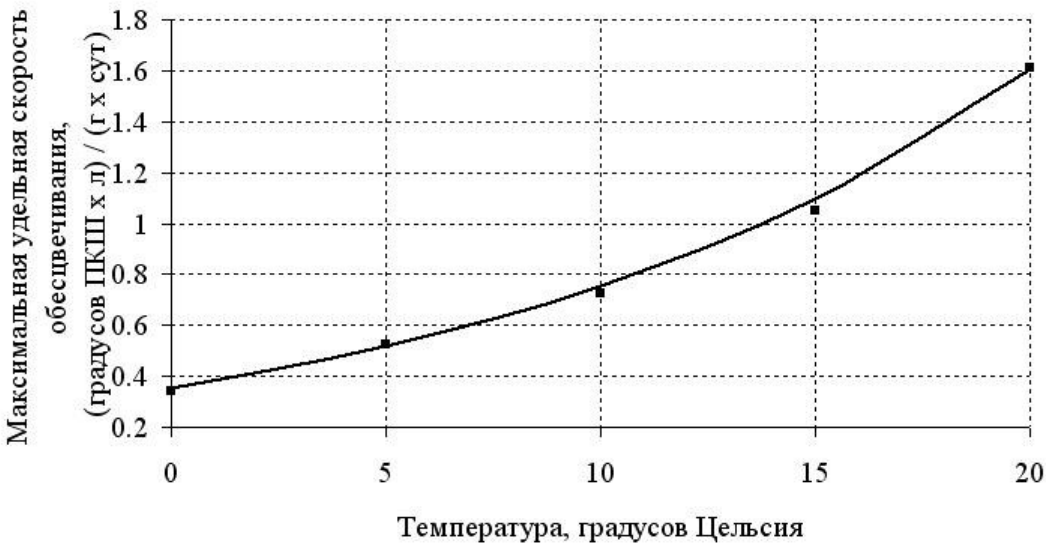


Рис. 5

Методом наименьших квадратов для условий эксперимента (медленное фильтрование) нами установлено, что $k = 1.035$.

Технологический расчет аппарата биологического обесцвечивания природной высокоцветной воды может быть построен на зависимости для определения требуемого количества загрузки на базе экспериментально определенной скорости обесцвечивания [3]. Масса загрузки M может быть определена по формуле

$$M = \frac{(L_0 - L_e) \times Q}{p(L_e)}, \tag{5}$$

где Q – производительность установки.

Располагая информацией о допустимой скорости потока в установке, можно определить конструктивные параметры устройства (диаметр сечения секции, количество секций и т.д.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Информация о параметрах K_L и p_m в уравнении (2) для определения удельной скорости обесцвечивания в условиях медленного фильтрования и биосорбции приведена в таблице.

Таблица

Исходная вода	Начальная цветность, єПКШ	Тип устройства и условия	Параметры уравнения (2)
р. Шуя, цветность обусловлена гуминовыми кислотами	140	Многосекционный медленный фильтр с песчаной загрузкой, активная высота загрузки секции – 5 см, температура воды – 15єС	$p_m = 1.1\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$, $K_L = 34.6\left(^0 ПКШ\right)$
р. Шуя, цветность обусловлена гуминовыми кислотами	140	Биосорбер, уголь марки АГ-5, температура воды – 15єС	$p_m = 11.0\left(\frac{^0 ПКШ \times л}{г \times сут}\right)$, $K_L = 12\left(^0 ПКШ\right)$

Выводы:

1. Экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных условиях, продемонстрировали высокий потенциал биологических методов очистки высокоцветных природных вод, содержащих трудноокисляемые органические вещества.
2. Механизм сорбции растворенных органических загрязнений, обуславливающих цветность воды, на поверхности биопленки с последующим их окислением может быть реализован в условиях медленного фильтрования через песчаную загрузку. Биосорбер колонного типа с загрузкой активированным углем позволяет значительно интенсифицировать процесс за счет увеличения общего объема биопленки и скорости ее образования.
3. Процесс обесцвечивания природных вод неплохо описывается обобщенными нелинейными моделями биологической очистки. Удельная скорость окисления в условиях медленного фильтрования и очистки в биосорбере колонного типа значительно зависит от температуры среды и в интервале температур температур 0-20 єС удовлетворительно описывается уравнением Аррениуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвиненко А.В., Лозовик П.А., Карпечко В.А. Водные ресурсы Карелии как эколого-экономический фактор / Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 29-36.
2. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 579 с.
3. Пушников М.Ю. Очистка природных вод биосорбционным методом: автореф. дис. … канд. техн. наук: защищена 06.12.2000: утв. 2000. – М., 2000. – 24 с.
4. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. – М.: Колос, 1984. – 480 с.
5. Аюкаев Р.Р. Технология медленного фильтрования на сооружениях малой и средней производительности: дис. … канд. техн. наук: защищена 30.06.2005: утв. 2005. – Петрозаводск, 2004. – 193 с.
6. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. – М.: Наука, 1983. – 160 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.179
М.Д. Черносвитов – магистр, инженер
E-mail: mihail_che@mail.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ЧАСОВОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ

АННОТАЦИЯ

Представлены формулы (с выводом) для определения размеров потерь питьевой воды, как из зоны подачи насосной станции, так и в отдельных домах, по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода. Приведено описание существующих методик определения размера утечек воды. Определен размер утечек воды для ряда реальных объектов известными методами и по предложенным формулам. Произведено сравнение полученных результатов. Предложена методика определения расчетного ночного коэффициента часовой неравномерности характерного для жилых домов с выбранной степенью благоустройства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: потери воды, водопотребление, коэффициент часовой неравномерности.

M.D. Chernosvitov – magistrate, engineer
Samara State University of Architecture and Engineering

TECHNIQUE OF THE ESTIMATION OF LOSSES OF WATER ON FACTOR OF HOUR NON-UNIFORMITY

ABSTRACT

Formulas (with a conclusion) for definition of the sizes of losses of potable water, both from a zone of submission of pump station, and in separate houses, on factors of hour non-uniformity with allocation of the night period are presented. The description of existing techniques of definition of the size of outflow of water is resulted. The size of outflow of water for of some real objects by known methods and under the offered formulas is certain. Comparison of the received results is made. The technique of definition of settlement night factor of hour non-uniformity characteristic for apartment houses with the chosen degree of an accomplishment is offered.

KEYWORDS: losses of water, water consumption, factor of hour non-uniformity.

Описанные в литературе [1-8] методы оценки объема скрытых утечек можно разделить на три группы:

1. «Открытый» зональный метод. Участок зональных измерений на время производства замеров изолируется от остальной части водопроводной сети закрытием задвижек. Вода может поступать в зону сети через один или несколько питающих водоводов, оборудованных расходомерами. Объем скрытых утечек из наружной сети определяется как разность показаний расходомеров, установленных на питающих вводах зоны, и расходомеров, установленных на абонентских вводах, за один и тот же промежуток времени.

2. «Закрытый» зональный метод. Отличается от предыдущего метода тем, что на период измерений от сети отключаются все потребители воды в выбранной «закрытой» зоне. Величина скрытых утечек определяется по показаниям расходомеров, установленных на питающих вводах. Для определения потерь во внутридомовой сети при отсутствии водоразбора использование водомера можно заменить применением прибора инженера Панкевича [1] и соответствующей методикой определения объема воды, поступившей в сеть.

3. Определение объемов скрытых утечек на основании измерений ночных расходов. Этим методом определяют потери воды в отдельных районах (зонах водоснабжения) и утечки в зданиях.

При первом способе требуется наличие водосчетчиков на вводах потребителей, что не везде имеет место. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При втором способе требуется прекращение подачи воды потребителям, поэтому работы рекомендуется проводить в ночное время. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

Третий метод основывается на замерах ночных расходов по результатам показаний водосчетчиков, установленных на повысительных насосных станциях или водопроводных вводах в домах. В методике [2] говорится о необходимости укомплектовки водосчетчиков узлом импульсного выхода, соединенного с приборами накопления информации.

Согласно Инструкции по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения [3] величина скрытых утечек воды $q_{скр}$, из водопроводной сети микрорайона:

$$q_{скр} = [\sum Q - (\sum Q_{аб} + \sum q_н)]\frac{24}{t},\ м^3/сут \qquad (1)$$

где $\sum Q$ – объем поданной в сеть микрорайона воды в куб. м за t ч;

$\sum q_н$ – объем воды, не учитываемый средствами измерений;

$\sum Q_{аб}$ – объем воды, потребленный абонентами за тот же период.

Объем воды, не зарегистрированный средствами измерений, определяется по формуле:

$$W_{св} = \sum_1^m q_i^{пор} \cdot n_i \cdot t_i,\ м^3$$

где $q_i^{пор}$ – порог чувствительности средства измерения, куб. м/ч;

n_i – число средств измерения данного калибра;

t_i – число часов работы средства измерения с расходами в пределах порога чувствительности;

m – число калибров средств измерения.

Если средствами измерений охвачены единичные жилые дома в каждой группе однотипных домов, то результаты должны быть увеличены пропорционально числу домов в каждой группе.

В работе [4] была предложена формула:

$$Q_{ут}^{сут} = 24 q_н^{мин}, \qquad (2)$$

где $Q_{ут}^{сут}$ – суточная величина утечки, $м^3$/сут;

$q_н^{мин}$ – минимальный часовой ночной расход, $м^3$/ч.

Согласно Методике определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения [5] величина потерь (утечек) воды в здании $q_{ут}$ определяется по минимальному (мгновенному) ночному расходу воды и данным о напорах в дневное и ночное время, по формуле:

$$q_{ут} = q_{ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (3)$$

где: $q_{ноч}$ – минимальный (мгновенный) ночной расход воды, $м^3$/ч;

К – эмпирический коэффициент, равный 0,85;

$H_{эф\ дн}$ – эффективный напор в дневное время, м вод. ст.;

$H_{эф\ н}$ – эффективный напор в ночное время (с 1 до 5 ч), м вод. ст.

Для жилых домов вычисляется удельная величина ночного расхода и утечки на одного жителя $q_{ж\ ноч}$ и $q_{ж\ ут}$.

Также по Методике [5] определяют скрытые утечки в отдельных районах (зонах водоснабжения) по формуле (3), в которой вместо ночной утечки здания $q_{ут\ ноч}$ (скорее всего имеется ввиду минимальный (мгновенный) ночной расход $q_{ноч}$) используется скрытая утечка в ночное время по всей зоне водоснабжения $\sum q_{ут\ ноч}$:

$$q_{ут} = \sum q_{ут\ ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (4)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\sum q_{\text{ут ноч}} = q_{\text{з ноч}} - \sum q_{\text{ж ут}} - \sum q_{\text{па ноч}},$$

где: $q_{\text{з ноч}}$ – мгновенный ночной расход зоны водоснабжения;

$\sum q_{\text{ж ноч}}$ (видимо, подразумевается $\sum q_{\text{ж ут}}$) – общие ночные утечки в жилых домах:

$$\sum q_{\text{ж ноч}} = q_{\text{ж ноч}} \cdot N_{\text{ж}},$$

$N_{\text{ж}}$ – количество жителей в зоне водоснабжения.

Величина $q_{\text{ж ноч}}$ устанавливается по статистически достоверной выборке домов, принятой для системы коммунального водоснабжения.

$\sum q_{\text{па ноч}}$ – ночные расходы прочих абонентов, полученные на основе замеров или обработки статистических данных о водопотреблении;

Определение суточной скрытой утечки

Получение приведенной выше формулы (3) описано в работах [2, 6]. Там же приводится приближенная формула, не учитывающая колебание напора на вводе в здание, для определения величины утечки:

$$Q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = 21(q_{\text{н}}^{\text{факт}} - q_{\text{н пол}})N, \text{ л/сут}, \tag{5}$$

где: $q_{\text{н}}^{\text{факт}}$ – фактический удельный ночной (с 1 до 5 ч) расход, л/(ч·чел);

$q_{\text{н пол}} = 0{,}2$ – величина полезного водопотребления в ночные часы, л/(ч·чел);

N – число жителей в жилом здании (районе), чел.

В работе [7] величина утечки определяется по формуле:

$$Q_{\text{у}} = (14{,}4\text{x}15{,}1)\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут},$$

где q_4 – расход между тремя и четырьмя часами, м^3/ч;

U – число жителей.

В скобках указан интервал, значение коэффициента зависит от числа квартир. При числе квартир более 250 формула определения утечки имеет вид:

$$Q_{\text{у}} = 14{,}4\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут}, \tag{6}$$

В работах [8, 9] оценка суточной величины утечек воды в жилом доме современного благоустройства производится по следующим формулам:

при переменном давлении на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{4}(q_{\text{фi}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +\sum_{i=5}^{24}(4{,}02\cdot H_i^2 + 0{,}29\cdot H_i)\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{7}$$

при наличии регуляторов давления на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}4(q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +20(4{,}02\cdot H_{\text{ср}}^2 + 0{,}29\cdot H_{\text{ср}})\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{8}$$

где К – коэффициент, ограничивающий возможное завышение величин утечек воды:

$$K = \frac{q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}}{q_{\text{ср}}^{\text{н}}},$$

$q_{\text{фi}}^{\text{н}}$ – фактический удельный расход воды в ночные часы суток от 1 до 5 ч, л/(ч·чел);

$q_{\text{п}}^{\text{н}}$ – полезный расход воды в ночные часы суток, л/(ч·чел);

H_i – давление на вводе, МПа;

$H_{\text{ср}}$ – среднее значение давления, МПа;

N – количество квартир в доме;

U – количество жителей в доме.

Следует заметить, что в методиках определения утечек воды по ночному минимальному расходу [5, 6], период минимального расхода считается с 0^{00} до 5^{00}. При замерах средний расход с 0^{00} до 5^{00} составил 2,17 л/(ч·чел), а с 2^{00} до 5^{00} – 1,35 л/(ч·чел). Разница составляет 0,82 л/(ч·чел) (или 61 %), что при определении размера утечки по этим методикам даст значительное завышение результата. В

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

методиках полезный ночной расход считается 0,2 л/(ч·чел), что в 10,9 раза меньше среднего ночного расхода, полученного при замерах.

Для вывода формулы для определения размера утечки рассмотрен случай, когда повысительная насосная станция подает воду в жилой дом. Наиболее характерными периодами водопотребления считаются два периода: ночной (с 1 до 5 часов ночи) и дневной (остальные 20 часов). Ночной период характеризуется наименьшим полезным водопотреблением и максимальными избыточными напорами в сети. Для дневного периода характерны большие часовые расходы и меньшее избыточное давление.

Размер утечки изменяется пропорционально изменению квадратного корня из давления в месте утечки [5, 10].

$$q^{ут} = м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где м – коэффициент расхода,

$\sum щ$ – сумма площадей поперечного сечения отверстий,

g – ускорение свободного падения, м/с^2,

H – напор в месте утечки.

Выразим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки через давление в сети:

$$К_н^{ут} = \frac{q_н^{ут}}{q_{ср}^{ут}} = \frac{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_н}}{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{ср}}} = \sqrt{\frac{H_н}{H_{ср}}},$$

где $q_н^{ут}$ – ночная (с 1 до 5 часов) утечка, м^3/ч;

$q_{ср}^{ут}$ – среднечасовая суточная утечка, м^3/ч;

$H_н$ – средний напор в сети в ночное время (с 1 до 5 часов), м;

$H_{ср}$ – средний в течение суток напор, м.

Подачу насосной станции в ночное время $q_н^{НС}$, м^3/ч, запишем как сумму ночного водопотребления и ночной утечки:

$$q_н^{НС} = q_н^{дом} + q_н^{ут} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $q_н^{дом}$ – среднечасовое ночное (с 1 до 5 часов) потребление дома, м^3/ч.

Выразим ночные расходы через среднечасовые расходы и ночные коэффициенты часовой неравномерности:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot q_{ср}^{дом} + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут},$$

где $К_н^{НС}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности подачи насосной станции;

$К_н^{дом}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности потребления дома;

$К_н^{ут}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности утечки.

Представим среднее водопотребление как разность средней подачи насосной станции и средней утечки:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot (q_{ср}^{НС} - q_{ср}^{ут}) + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут}.$$

Выразим величину среднечасовой утечки:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{К_н^{ут} - К_н^{дом}}.$$

Подставим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки выраженный через давление:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{H_н / H_{ср}} - К_н^{дом}}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Умножая обе стороны равенства на 24, получим формулу для определения размера суточной утечки:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{Н_н/Н_{ср}} - К_н^{дом}}, \quad (9)$$

где $Q^{ут}$ – суточная утечка из водопроводной сети, м^3/сут;

$Q^{НС}$ – суточная подача насосной станции, м^3/сут.

Если насосная станция подает воду в группу однотипных жилых домов, то в формуле вместо среднечасового ночного потребления дома нужно подставить сумму ночного потребления всех домов, что не влияет на конечный результат (9).

Для насосных станций с частотно регулируемым приводом насосов давление в сети остается постоянным, а формула (9) имеет вид:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{1 - К_н^{дом}} \quad (10)$$

В качестве ночного коэффициента часовой неравномерности для жилых домов рекомендуется использовать величину, характерную для жилых домов с данной степенью благоустройства, определенную на основании статистической обработки ряда натурных измерений.

Если уравнения (9) и (10) составить относительно ввода в дом, т.е. определять размер утечек, сравнивая динамику прохождения воды через ввод и потреблением воды, характерным для дома без утечек, вместо напора нужно использовать эффективный напор:

$Н_{эф}=Н_{вв}-0,5Н_{зд}$

где $Н_{вв}$ – напор на вводе в здание, м;

$Н_{зд}$ – высота здания, м.

Формулы для определения утечек в доме имеют вид:

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{\sqrt{Н_{эф\,н}/Н_{эф\,ср}} - К_н^{мин}} \quad (11)$$

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{1 - К_н^{мин}}, \quad (12)$$

где $К_н^{мин}$ – ночной коэффициент часовой неравномерности, характерный для жилых домов с данной степенью благоустройства при отсутствии утечек;

$Н_{эф\,н}$, $Н_{эф\,ср}$ – средние эффективные напоры в ночное время и в течение суток соответственно.

Для применения представленных формул (11) и (12) является важным определение $К_н^{мин}$. При натурных замерах в четыре домах с одинаковой степенью благоустройства в разных районах города ночной коэффициент часовой неравномерности изменялся от 0,25 до 0,40 (табл. 1). С другой стороны, принимая по литературным данным полезный ночной расход 0,2 л/(ч·чел) при полезном удельном суточном водопотреблении $Q^{мин}$ = 200 л/(ч·чел), коэффициент $К_н^{мин}$ составит 0,024, при $Q^{мин}$ = 250 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,019, $Q^{мин}$ = 300 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,016.

В [11] говорится, что ночной расход при отсутствии утечек меньше 1 % $Q_{сут}$. Следовательно, коэффициент часовой неравномерности меньше 0,24.

Определить размер коэффициента $К_н^{мин}$, а также размер полезного суточного водопотребления $Q^{мин}$ можно способом которым определены коэффициенты для формулы (3). Согласно [2] значения эмпирических коэффициентов, которые не могут быть непосредственно измерены, могут быть рассчитаны на основе результатов экспериментов. Методически расчет $К_н^{мин}$ базируется на гипотезе, что в однотипных многоквартирных жилых зданиях, расположенных в одной климатической зоне, удельное суточное водопотребление должно быть примерно равным. Разница в суточном водопотреблении объясняется главным образом утечками воды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как следует из выражения (11), рассчитываемая величина утечки воды $Q^{ут}$ будет изменяться при варьировании значения $К_н^{мин}$. Правильность выбора этого значения оценивается по приведенным расходам воды $Q_{пр}$, которые представляют собой разность между фактическим водопотреблением в здании (измеренный суточный расход) и рассчитанной по выражению (11) величиной утечки воды:

$$Q_{пр} = Q^{дом} - Q^{ут}.$$

Разброс значений вычисленных таким образом приведенных расходов воды для достаточно широкой выборки жилых зданий будет тем меньше, чем правильнее будет выбрано численное значение $К_н^{мин}$. Критерием правильности выбора значений $К_н^{мин}$ следует принять минимум коэффициента вариации приведенных расходов воды для соответствующих выборок зданий $V[S(Q_{пр})/M(Q_{пр})]$. Принятый критерий является одновременно функцией как среднего значения $M(Q_{пр})$, так и дисперсии (среднеквадратичного отклонения) $S(Q_{пр})$ этой величины. Использование этого критерия позволяет обоснованно наложить ограничения на снижение среднего по выборке значения приведенного удельного суточного расхода, чего не удается сделать, если за критерий правильности выбора величины $К_н^{мин}$ принять минимальное значение дисперсии приведенных расходов воды.

В городе Самара в 2008-09 гг. были выполнены замеры расходов холодной воды в ряде жилых домов. Все дома имеют одинаковую степень благоустройства. В таблице 1 приведены результаты определения размера утечки по предложенной формуле при разных коэффициентах $К_н^{мин}$.

Таблица 1

Зависимость величины утечки от $К_н^{мин}$

Объект	$К_н^{дом}$	$Q^{ут}$ в процентах от $Q^{дом}$ при $К_н^{мин}$					
		0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
Дом 1	0,40	25,0	24,1	23,1	22,1	21,1	20,0
Дом 2	0,27	8,8	7,6	6,4	5,2	3,9	2,7
Дом 3	0,25	6,3	5,1	3,8	2,6	1,3	0,0
Среднее значение	0,31						

Также были выполнены замеры расходов и напоров на нескольких повысительных насосных станциях, подающих воду в группы однотипных жилых домов.

Для сравнения представленных методик определения размера утечек воды были использованы графики подачи воды и изменения давления 11-и повысительных насосных станций и 3-х жилых домов. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Потеря воды во внутриквартальных сетях (в числителе в л/(сут·чел) в знаменателе в % от суточной подачи насосной станции)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	$К_н^{НС}$	Формула расчета		
			(1)	(2)	(9, 10)
НС 1	341,7	0,53	179,5 52,4	164,3 48,1	106,5 31,2
НС 2	259,1	0,62	126,3 48,7	117,0 45,1	114,2 44,1
НС 3	363,1	0,58	-	188,9 52,0	141,8 39,1
НС 4	383,3	0,62	-	203,6 53,1	172,5 45,0
НС 5	349,4	0,53	-	154,2 44,1	110,7 31,7
НС 6	338,4	0,54	-	158,2 46,8	112,7 33,3
НС 7	337,4	0,66	-	70,7 21,0	171,8 50,9
НС 8	345,3	0,62	-	147,8 42,8	143,5 41,6

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

НС 9	364,6	0,54	-	171,9 47,1	118,4 32,5
НС 10	311,9	0,50	-	78,1 25,0	83,5 26,8
НС 11	299,1	0,58	-	159,2 53,2	116,9 39,1

Таблица 3

Потеря воды в зданиях (в числителе в л/(сут·чел)
в знаменателе в % от суточного потребления дома)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	Формула расчета					
		(2)	(3)	(5)	(6)	(7, 8)	(11, 12)
Дом 1	162,5	-	-	52,1 32,0	17,0 10,5	27,7 13,4	34,2 21,1
Дом 2	222,1	32,8 14,8	28,7 12,9	46,8 21,1	26,6 12,0	21,5 9,7	5,2 3,9
Дом 3	224,9	11,8 5,2	10,3 4,6	45,1 20,0	30,9 13,7	17,7 7,9	2,9 1,3

Для формул (9) и (10) принято $K_н^{дом}$ =0,31, для формул (11) и (12) принято $K_н^{мин}$ =0,24.

Дом 1 получает воду от НС 1.

Для расчетов по формулам (7), (8) заселенность квартир принята равной 3 чел/кв.

Предложенная в статье методика имеет ряд преимущественных отличий от других методов.

Во-первых, использование ночного расхода (с 1 до 5 часов) для определения размера утечки предпочтительнее минимального часового и, тем более, минимального мгновенного расхода. Это объясняется тем, что на практике возможны случаи, при которых счетчики, установленные в домах, работают в условиях, значительно отличающихся от тех, при которых допускают минимальную погрешность [12, 13]. Для определения минимального мгновенного расхода требуется наличие соответствующего оборудования.

Во-вторых, не используется такая величина, как полезное ночное водопотребление, значение которой (0,2 л/(ч·чел)) было определено более сорока лет назад и требует уточнения в современных условиях. Помимо этого, в разных методиках с этой величиной сравниваются разные величины: средний ночной расход, минимальный часовой расход и минимальный мгновенный расход. Фактический ночной расход, помимо полезного потребления и утечек, содержит непроизводительные потери, которые согласно этим методикам относятся к утечкам. Не требуется информация о числе жителей в районе, обслуживаемом насосной станцией, и в каждом доме.

В-третьих, для определения коэффициентов неравномерности возможно использование накладных расходомеров, применение которых на действующих сетях для измерения расхода воды затруднено изменением живого сечения труб.

Выводы

Предложена методика определения размера утечек воды по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода.

Возможно определение потери воды, как из зоны подачи повысительной насосной станции, так и в отдельных домах.

Описанная методика имеет ряд принципиальных отличий от общеизвестных.

Определение размера утечки из зоны подачи повысительной насосной станции возможно на основании замеров только на насосной станции и ночного коэффициента часовой неравномерности, характерного для жилых домов с данной степенью благоустройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по борьбе с утечками и потерями воды на городских водопроводах. – М.: Стройиздат, 1973. – 80 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Кожинов И.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 348. с.: ил.
3. Инструкция по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Постановлением Госстроя России от 31 марта 2000 г.
4. Сапожников М.М. Борьба с утечкой воды из водопроводов. – М.: МКХ РСФСР, 1958.
5. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Приказом Минпромэнерго России от 20 декабря 2004 г. № 172.
6. Майзель М.П., Кожинов И.В., Доброводьский Р.Г. и др. Оценка величины утечек воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 8. – С. 6-9.
7. Гейнц В.Г., Обельченко И.О. Об определении размеров утечек в водопроводах жилых зданий // Сб. трудов НИИ санитарной техники «Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы и арматура». – М., 1974, № 43. – С. 129-138.
8. Свинцов А.П. Гидравлические и технологические основы водосбережения в жилищном фонде. Автореф. дис. … докт. техн. наук. – М., 2003. – 36 с.
9. Свинцов А.П., Скотников Ю.А. Пути устранения потерь воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1988, № 1. – С. 22-23.
10. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 424 с., ил.
11. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Водомеры для водопроводов и канализации. Изд. 3-е, исправ. и доп. – М.: Стройиздат, 1964. – 150 с.
12. Свинцов А.П. Приборный учет количества использованной водопроводно-канализационной продукции в жилых зданиях // Сантехника, 2006, № 4.
13. Свинцов А.П. Реализация продукции водопроводно-канализационных предприятий на рынке жилищного фонда: Монография. – М., 2007. – 269 с.: ил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 628.179
М.Д. Черносвитов – магистр, инженер
E-mail: mihail_che@mail.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ЧАСОВОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ

АННОТАЦИЯ

Представлены формулы (с выводом) для определения размеров потерь питьевой воды, как из зоны подачи насосной станции, так и в отдельных домах, по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода. Приведено описание существующих методик определения размера утечек воды. Определен размер утечек воды для ряда реальных объектов известными методами и по предложенным формулам. Произведено сравнение полученных результатов. Предложена методика определения расчетного ночного коэффициента часовой неравномерности характерного для жилых домов с выбранной степенью благоустройства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: потери воды, водопотребление, коэффициент часовой неравномерности.

M.D. Chernosvitov – magistrate, engineer
Samara State University of Architecture and Engineering

TECHNIQUE OF THE ESTIMATION OF LOSSES OF WATER ON FACTOR OF HOUR NON-UNIFORMITY

ABSTRACT

Formulas (with a conclusion) for definition of the sizes of losses of potable water, both from a zone of submission of pump station, and in separate houses, on factors of hour non-uniformity with allocation of the night period are presented. The description of existing techniques of definition of the size of outflow of water is resulted. The size of outflow of water for of some real objects by known methods and under the offered formulas is certain. Comparison of the received results is made. The technique of definition of settlement night factor of hour non-uniformity characteristic for apartment houses with the chosen degree of an accomplishment is offered.

KEYWORDS: losses of water, water consumption, factor of hour non-uniformity.

Описанные в литературе [1-8] методы оценки объема скрытых утечек можно разделить на три группы:

1. «Открытый» зональный метод. Участок зональных измерений на время производства замеров изолируется от остальной части водопроводной сети закрытием задвижек. Вода может поступать в зону сети через один или несколько питающих водоводов, оборудованных расходомерами. Объем скрытых утечек из наружной сети определяется как разность показаний расходомеров, установленных на питающих вводах зоны, и расходомеров, установленных на абонентских вводах, за один и тот же промежуток времени.

2. «Закрытый» зональный метод. Отличается от предыдущего метода тем, что на период измерений от сети отключаются все потребители воды в выбранной «закрытой» зоне. Величина скрытых утечек определяется по показаниям расходомеров, установленных на питающих вводах. Для определения потерь во внутридомовой сети при отсутствии водоразбора использование водомера можно заменить применением прибора инженера Панкевича [1] и соответствующей методикой определения объема воды, поступившей в сеть.

3. Определение объемов скрытых утечек на основании измерений ночных расходов. Этим методом определяют потери воды в отдельных районах (зонах водоснабжения) и утечки в зданиях.

При первом способе требуется наличие водосчетчиков на вводах потребителей, что не везде имеет место. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При втором способе требуется прекращение подачи воды потребителям, поэтому работы рекомендуется проводить в ночное время. Также необходимы монтажные работы по установке дополнительного оборудования, исправная работа задвижек на сети и т.д.

Третий метод основывается на замерах ночных расходов по результатам показаний водосчетчиков, установленных на повысительных насосных станциях или водопроводных вводах в домах. В методике [2] говорится о необходимости укомплектовки водосчетчиков узлом импульсного выхода, соединенного с приборами накопления информации.

Согласно Инструкции по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения [3] величина скрытых утечек воды $q_{скр}$, из водопроводной сети микрорайона:

$$q_{скр} = [\sum Q - (\sum Q_{аб} + \sum q_н)]\frac{24}{t},\ м^3/сут \qquad (1)$$

где $\sum Q$ – объем поданной в сеть микрорайона воды в куб. м за t ч;

$\sum q_н$ – объем воды, не учитываемый средствами измерений;

$\sum Q_{аб}$ – объем воды, потребленный абонентами за тот же период.

Объем воды, не зарегистрированный средствами измерений, определяется по формуле:

$$W_{св} = \sum_1^m q_i^{пор} \cdot n_i \cdot t_i,\ м^3$$

где $q_i^{пор}$ – порог чувствительности средства измерения, куб. м/ч;

n_i – число средств измерения данного калибра;

t_i – число часов работы средства измерения с расходами в пределах порога чувствительности;

m – число калибров средств измерения.

Если средствами измерений охвачены единичные жилые дома в каждой группе однотипных домов, то результаты должны быть увеличены пропорционально числу домов в каждой группе.

В работе [4] была предложена формула:

$$Q_{ут}^{сут} = 24 q_н^{мин}, \qquad (2)$$

где $Q_{ут}^{сут}$ – суточная величина утечки, $м^3$/сут;

$q_н^{мин}$ – минимальный часовой ночной расход, $м^3$/ч.

Согласно Методике определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения [5] величина потерь (утечек) воды в здании $q_{ут}$ определяется по минимальному (мгновенному) ночному расходу воды и данным о напорах в дневное и ночное время, по формуле:

$$q_{ут} = q_{ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (3)$$

где: $q_{ноч}$ – минимальный (мгновенный) ночной расход воды, $м^3$/ч;

К – эмпирический коэффициент, равный 0,85;

$H_{эф\ дн}$ – эффективный напор в дневное время, м вод. ст.;

$H_{эф\ н}$ – эффективный напор в ночное время (с 1 до 5 ч), м вод. ст.

Для жилых домов вычисляется удельная величина ночного расхода и утечки на одного жителя $q_{ж\ ноч}$ и $q_{ж\ ут}$.

Также по Методике [5] определяют скрытые утечки в отдельных районах (зонах водоснабжения) по формуле (3), в которой вместо ночной утечки здания $q_{ут\ ноч}$ (скорее всего имеется ввиду минимальный (мгновенный) ночной расход $q_{ноч}$) используется скрытая утечка в ночное время по всей зоне водоснабжения $\sum q_{ут\ ноч}$:

$$q_{ут} = \sum q_{ут\ ноч}\left(4 + K \cdot 20 \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{эф\ дн}}{H_{эф\ н}}}\right),\ м^3/сут, \qquad (4)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$\sum q_{\text{ут ноч}} = q_{\text{з ноч}} - \sum q_{\text{ж ут}} - \sum q_{\text{па ноч}},$$

где: $q_{\text{з ноч}}$ – мгновенный ночной расход зоны водоснабжения;

$\sum q_{\text{ж ноч}}$ (видимо, подразумевается $\sum q_{\text{ж ут}}$) – общие ночные утечки в жилых домах:

$$\sum q_{\text{ж ноч}} = q_{\text{ж ноч}} \cdot N_{\text{ж}},$$

$N_{\text{ж}}$ – количество жителей в зоне водоснабжения.

Величина $q_{\text{ж ноч}}$ устанавливается по статистически достоверной выборке домов, принятой для системы коммунального водоснабжения.

$\sum q_{\text{па ноч}}$ – ночные расходы прочих абонентов, полученные на основе замеров или обработки статистических данных о водопотреблении;

Определение суточной скрытой утечки

Получение приведенной выше формулы (3) описано в работах [2, 6]. Там же приводится приближенная формула, не учитывающая колебание напора на вводе в здание, для определения величины утечки:

$$Q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = 21(q_{\text{н}}^{\text{факт}} - q_{\text{н пол}})N, \text{ л/сут}, \tag{5}$$

где: $q_{\text{н}}^{\text{факт}}$ – фактический удельный ночной (с 1 до 5 ч) расход, л/(ч·чел);

$q_{\text{н пол}} = 0{,}2$ – величина полезного водопотребления в ночные часы, л/(ч·чел);

N – число жителей в жилом здании (районе), чел.

В работе [7] величина утечки определяется по формуле:

$$Q_{\text{у}} = (14{,}4\text{x}15{,}1)\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут},$$

где q_4 – расход между тремя и четырьмя часами, м^3/ч;

U – число жителей.

В скобках указан интервал, значение коэффициента зависит от числа квартир. При числе квартир более 250 формула определения утечки имеет вид:

$$Q_{\text{у}} = 14{,}4\cdot q_4 - 0{,}001\cdot U, \text{ м}^3\text{/сут}, \tag{6}$$

В работах [8, 9] оценка суточной величины утечек воды в жилом доме современного благоустройства производится по следующим формулам:

при переменном давлении на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}\sum_{i=1}^{4}(q_{\text{фi}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +\sum_{i=5}^{24}(4{,}02\cdot H_i^2 + 0{,}29\cdot H_i)\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{7}$$

при наличии регуляторов давления на вводе:

$$q_{\text{ут}}^{\text{сут}} = K\left[\begin{array}{l}4(q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}) + \\ +20(4{,}02\cdot H_{\text{ср}}^2 + 0{,}29\cdot H_{\text{ср}})\dfrac{N}{U}\end{array}\right], \tag{8}$$

где К – коэффициент, ограничивающий возможное завышение величин утечек воды:

$$K = \frac{q_{\text{ср}}^{\text{н}} - q_{\text{п}}^{\text{н}}}{q_{\text{ср}}^{\text{н}}},$$

$q_{\text{фi}}^{\text{н}}$ – фактический удельный расход воды в ночные часы суток от 1 до 5 ч, л/(ч·чел);

$q_{\text{п}}^{\text{н}}$ – полезный расход воды в ночные часы суток, л/(ч·чел);

H_i – давление на вводе, МПа;

$H_{\text{ср}}$ – среднее значение давления, МПа;

N – количество квартир в доме;

U – количество жителей в доме.

Следует заметить, что в методиках определения утечек воды по ночному минимальному расходу [5, 6], период минимального расхода считается с 0^{00} до 5^{00}. При замерах средний расход с 0^{00} до 5^{00} составил 2,17 л/(ч·чел), а с 2^{00} до 5^{00} – 1,35 л/(ч·чел). Разница составляет 0,82 л/(ч·чел) (или 61 %), что при определении размера утечки по этим методикам даст значительное завышение результата. В

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

методиках полезный ночной расход считается 0,2 л/(ч·чел), что в 10,9 раза меньше среднего ночного расхода, полученного при замерах.

Для вывода формулы для определения размера утечки рассмотрен случай, когда повысительная насосная станция подает воду в жилой дом. Наиболее характерными периодами водопотребления считаются два периода: ночной (с 1 до 5 часов ночи) и дневной (остальные 20 часов). Ночной период характеризуется наименьшим полезным водопотреблением и максимальными избыточными напорами в сети. Для дневного периода характерны большие часовые расходы и меньшее избыточное давление.

Размер утечки изменяется пропорционально изменению квадратного корня из давления в месте утечки [5, 10].

$$q^{ут} = м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где м – коэффициент расхода,

$\sum щ$ – сумма площадей поперечного сечения отверстий,

g – ускорение свободного падения, м/с^2,

H – напор в месте утечки.

Выразим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки через давление в сети:

$$К_н^{ут} = \frac{q_н^{ут}}{q_{ср}^{ут}} = \frac{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_н}}{м \cdot \sum щ \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{ср}}} = \sqrt{\frac{H_н}{H_{ср}}},$$

где $q_н^{ут}$ – ночная (с 1 до 5 часов) утечка, м^3/ч;

$q_{ср}^{ут}$ – среднечасовая суточная утечка, м^3/ч;

$H_н$ – средний напор в сети в ночное время (с 1 до 5 часов), м;

$H_{ср}$ – средний в течение суток напор, м.

Подачу насосной станции в ночное время $q_н^{НС}$, м^3/ч, запишем как сумму ночного водопотребления и ночной утечки:

$$q_н^{НС} = q_н^{дом} + q_н^{ут} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где $q_н^{дом}$ – среднечасовое ночное (с 1 до 5 часов) потребление дома, м^3/ч.

Выразим ночные расходы через среднечасовые расходы и ночные коэффициенты часовой неравномерности:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot q_{ср}^{дом} + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут},$$

где $К_н^{НС}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности подачи насосной станции;

$К_н^{дом}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности потребления дома;

$К_н^{ут}$ – средний ночной коэффициент часовой неравномерности утечки.

Представим среднее водопотребление как разность средней подачи насосной станции и средней утечки:

$$К_н^{НС} \cdot q_{ср}^{НС} = К_н^{дом} \cdot (q_{ср}^{НС} - q_{ср}^{ут}) + К_н^{ут} \cdot q_{ср}^{ут}.$$

Выразим величину среднечасовой утечки:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{К_н^{ут} - К_н^{дом}}.$$

Подставим ночной коэффициент часовой неравномерности утечки выраженный через давление:

$$q_{ср}^{ут} = q_{ср}^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{H_н / H_{ср}} - К_н^{дом}}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Умножая обе стороны равенства на 24, получим формулу для определения размера суточной утечки:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{\sqrt{Н_н/Н_{ср}} - К_н^{дом}}, \quad (9)$$

где $Q^{ут}$ – суточная утечка из водопроводной сети, м^3/сут;

$Q^{НС}$ – суточная подача насосной станции, м^3/сут.

Если насосная станция подает воду в группу однотипных жилых домов, то в формуле вместо среднечасового ночного потребления дома нужно подставить сумму ночного потребления всех домов, что не влияет на конечный результат (9).

Для насосных станций с частотно регулируемым приводом насосов давление в сети остается постоянным, а формула (9) имеет вид:

$$Q^{ут} = Q^{НС} \frac{К_н^{НС} - К_н^{дом}}{1 - К_н^{дом}} \quad (10)$$

В качестве ночного коэффициента часовой неравномерности для жилых домов рекомендуется использовать величину, характерную для жилых домов с данной степенью благоустройства, определенную на основании статистической обработки ряда натурных измерений.

Если уравнения (9) и (10) составить относительно ввода в дом, т.е. определять размер утечек, сравнивая динамику прохождения воды через ввод и потреблением воды, характерным для дома без утечек, вместо напора нужно использовать эффективный напор:

$Н_{эф}=Н_{вв}-0,5Н_{зд}$

где $Н_{вв}$ – напор на вводе в здание, м;

$Н_{зд}$ – высота здания, м.

Формулы для определения утечек в доме имеют вид:

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{\sqrt{Н_{эф\,н}/Н_{эф\,ср}} - К_н^{мин}} \quad (11)$$

$$Q^{ут} = Q^{дом} \frac{К_н^{дом} - К_н^{мин}}{1 - К_н^{мин}}, \quad (12)$$

где $К_н^{мин}$ – ночной коэффициент часовой неравномерности, характерный для жилых домов с данной степенью благоустройства при отсутствии утечек;

$Н_{эф\,н}$, $Н_{эф\,ср}$ – средние эффективные напоры в ночное время и в течение суток соответственно.

Для применения представленных формул (11) и (12) является важным определение $К_н^{мин}$. При натурных замерах в четыре домах с одинаковой степенью благоустройства в разных районах города ночной коэффициент часовой неравномерности изменялся от 0,25 до 0,40 (табл. 1). С другой стороны, принимая по литературным данным полезный ночной расход 0,2 л/(ч·чел) при полезном удельном суточном водопотреблении $Q^{мин}$ = 200 л/(ч·чел), коэффициент $К_н^{мин}$ составит 0,024, при $Q^{мин}$ = 250 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,019, $Q^{мин}$ = 300 л/(ч·чел) $К_н^{мин}$ = 0,016.

В [11] говорится, что ночной расход при отсутствии утечек меньше 1 % $Q_{сут}$. Следовательно, коэффициент часовой неравномерности меньше 0,24.

Определить размер коэффициента $К_н^{мин}$, а также размер полезного суточного водопотребления $Q^{мин}$ можно способом которым определены коэффициенты для формулы (3). Согласно [2] значения эмпирических коэффициентов, которые не могут быть непосредственно измерены, могут быть рассчитаны на основе результатов экспериментов. Методически расчет $К_н^{мин}$ базируется на гипотезе, что в однотипных многоквартирных жилых зданиях, расположенных в одной климатической зоне, удельное суточное водопотребление должно быть примерно равным. Разница в суточном водопотреблении объясняется главным образом утечками воды.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как следует из выражения (11), рассчитываемая величина утечки воды $Q^{ут}$ будет изменяться при варьировании значения $К_н^{мин}$. Правильность выбора этого значения оценивается по приведенным расходам воды $Q_{пр}$, которые представляют собой разность между фактическим водопотреблением в здании (измеренный суточный расход) и рассчитанной по выражению (11) величиной утечки воды:

$$Q_{пр} = Q^{дом} - Q^{ут}.$$

Разброс значений вычисленных таким образом приведенных расходов воды для достаточно широкой выборки жилых зданий будет тем меньше, чем правильнее будет выбрано численное значение $К_н^{мин}$. Критерием правильности выбора значений $К_н^{мин}$ следует принять минимум коэффициента вариации приведенных расходов воды для соответствующих выборок зданий $V[S(Q_{пр})/M(Q_{пр})]$. Принятый критерий является одновременно функцией как среднего значения $M(Q_{пр})$, так и дисперсии (среднеквадратичного отклонения) $S(Q_{пр})$ этой величины. Использование этого критерия позволяет обоснованно наложить ограничения на снижение среднего по выборке значения приведенного удельного суточного расхода, чего не удается сделать, если за критерий правильности выбора величины $К_н^{мин}$ принять минимальное значение дисперсии приведенных расходов воды.

В городе Самара в 2008-09 гг. были выполнены замеры расходов холодной воды в ряде жилых домов. Все дома имеют одинаковую степень благоустройства. В таблице 1 приведены результаты определения размера утечки по предложенной формуле при разных коэффициентах $К_н^{мин}$.

Таблица 1

Зависимость величины утечки от $К_н^{мин}$

Объект	$К_н^{дом}$	$Q^{ут}$ в процентах от $Q^{дом}$ при $К_н^{мин}$					
		0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
Дом 1	0,40	25,0	24,1	23,1	22,1	21,1	20,0
Дом 2	0,27	8,8	7,6	6,4	5,2	3,9	2,7
Дом 3	0,25	6,3	5,1	3,8	2,6	1,3	0,0
Среднее значение	0,31						

Также были выполнены замеры расходов и напоров на нескольких повысительных насосных станциях, подающих воду в группы однотипных жилых домов.

Для сравнения представленных методик определения размера утечек воды были использованы графики подачи воды и изменения давления 11-и повысительных насосных станций и 3-х жилых домов. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Потеря воды во внутриквартальных сетях (в числителе в л/(сут·чел) в знаменателе в % от суточной подачи насосной станции)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	$К_н^{НС}$	Формула расчета		
			(1)	(2)	(9, 10)
НС 1	341,7	0,53	179,5 52,4	164,3 48,1	106,5 31,2
НС 2	259,1	0,62	126,3 48,7	117,0 45,1	114,2 44,1
НС 3	363,1	0,58	-	188,9 52,0	141,8 39,1
НС 4	383,3	0,62	-	203,6 53,1	172,5 45,0
НС 5	349,4	0,53	-	154,2 44,1	110,7 31,7
НС 6	338,4	0,54	-	158,2 46,8	112,7 33,3
НС 7	337,4	0,66	-	70,7 21,0	171,8 50,9
НС 8	345,3	0,62	-	147,8 42,8	143,5 41,6

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

НС 9	364,6	0,54	-	171,9 47,1	118,4 32,5
НС 10	311,9	0,50	-	78,1 25,0	83,5 26,8
НС 11	299,1	0,58	-	159,2 53,2	116,9 39,1

Таблица 3

Потеря воды в зданиях (в числителе в л/(сут·чел)
в знаменателе в % от суточного потребления дома)

Объект	$q_{сут}$, л/(сут·чел)	Формула расчета					
		(2)	(3)	(5)	(6)	(7, 8)	(11, 12)
Дом 1	162,5	-	-	52,1 32,0	17,0 10,5	27,7 13,4	34,2 21,1
Дом 2	222,1	32,8 14,8	28,7 12,9	46,8 21,1	26,6 12,0	21,5 9,7	5,2 3,9
Дом 3	224,9	11,8 5,2	10,3 4,6	45,1 20,0	30,9 13,7	17,7 7,9	2,9 1,3

Для формул (9) и (10) принято $K_н^{дом}$ =0,31, для формул (11) и (12) принято $K_н^{мин}$ =0,24.

Дом 1 получает воду от НС 1.

Для расчетов по формулам (7), (8) заселенность квартир принята равной 3 чел/кв.

Предложенная в статье методика имеет ряд преимущественных отличий от других методов.

Во-первых, использование ночного расхода (с 1 до 5 часов) для определения размера утечки предпочтительнее минимального часового и, тем более, минимального мгновенного расхода. Это объясняется тем, что на практике возможны случаи, при которых счетчики, установленные в домах, работают в условиях, значительно отличающихся от тех, при которых допускают минимальную погрешность [12, 13]. Для определения минимального мгновенного расхода требуется наличие соответствующего оборудования.

Во-вторых, не используется такая величина, как полезное ночное водопотребление, значение которой (0,2 л/(ч·чел)) было определено более сорока лет назад и требует уточнения в современных условиях. Помимо этого, в разных методиках с этой величиной сравниваются разные величины: средний ночной расход, минимальный часовой расход и минимальный мгновенный расход. Фактический ночной расход, помимо полезного потребления и утечек, содержит непроизводительные потери, которые согласно этим методикам относятся к утечкам. Не требуется информация о числе жителей в районе, обслуживаемом насосной станцией, и в каждом доме.

В-третьих, для определения коэффициентов неравномерности возможно использование накладных расходомеров, применение которых на действующих сетях для измерения расхода воды затруднено изменением живого сечения труб.

Выводы

Предложена методика определения размера утечек воды по коэффициентам часовой неравномерности с выделением ночного периода.

Возможно определение потери воды, как из зоны подачи повысительной насосной станции, так и в отдельных домах.

Описанная методика имеет ряд принципиальных отличий от общеизвестных.

Определение размера утечки из зоны подачи повысительной насосной станции возможно на основании замеров только на насосной станции и ночного коэффициента часовой неравномерности, характерного для жилых домов с данной степенью благоустройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по борьбе с утечками и потерями воды на городских водопроводах. – М.: Стройиздат, 1973. – 80 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2. Кожинов И.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 348. с.: ил.
3. Инструкция по оценке и нормированию неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Постановлением Госстроя России от 31 марта 2000 г.
4. Сапожников М.М. Борьба с утечкой воды из водопроводов. – М.: МКХ РСФСР, 1958.
5. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. Утверждена Приказом Минпромэнерго России от 20 декабря 2004 г. № 172.
6. Майзель М.П., Кожинов И.В., Доброводьский Р.Г. и др. Оценка величины утечек воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 8. – С. 6-9.
7. Гейнц В.Г., Обельченко И.О. Об определении размеров утечек в водопроводах жилых зданий // Сб. трудов НИИ санитарной техники «Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы и арматура». – М., 1974, № 43. – С. 129-138.
8. Свинцов А.П. Гидравлические и технологические основы водосбережения в жилищном фонде. Автореф. дис. … докт. техн. наук. – М., 2003. – 36 с.
9. Свинцов А.П., Скотников Ю.А. Пути устранения потерь воды в жилых зданиях // Водоснабжение и санитарная техника, 1988, № 1. – С. 22-23.
10. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 424 с., ил.
11. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Водомеры для водопроводов и канализации. Изд. 3-е, исправ. и доп. – М.: Стройиздат, 1964. – 150 с.
12. Свинцов А.П. Приборный учет количества использованной водопроводно-канализационной продукции в жилых зданиях // Сантехника, 2006, № 4.
13. Свинцов А.П. Реализация продукции водопроводно-канализационных предприятий на рынке жилищного фонда: Монография. – М., 2007. – 269 с.: ил.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.16
Д.А. Аюпов – инженер
А.В. Мурафа – кандидат технических наук, профессор
Ю.Н. Хакимуллин – доктор технических наук, профессор
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор
E-mail: Ayupov_Damir@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РЕГЕНЕРАЦИИ РЕЗИН И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ*

АННОТАЦИЯ
Рассмотрены современные способы регенерации резины. Предложен путь утилизации резиновой крошки для получения битум-полимерной композиции. Производится сравнение с аналогами.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модификация битумов, девулканизация резин, регенерация резин.

D.A. Ayupov – post-graduate student
A.V. Murafa – candidate of technical sciences, professor
Yu.N. Khakimullin – doctor of technical sciences, professor
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

MODERN WAYS OF AUTOMOBILE TIRES RECYCLING AND WAYS OF USING THEM IN BUILDING

ABSTRACT
Modern ways of rubber regeneration are considered. The way of a rubber crumb recycling for bitumen-polymeric composition is offered. Comparison with analogues is made.
KEYWORDS: modification of bitumens, regeneration of rubbers.

Из-за стойкости резиновых изделий к действию кислорода, озона, солнечной радиации и бактериям для их произвольного разрушения требуются долгие годы, что приводит к серьёзному загрязнению окружающей среды. Ежегодный объём образования изношенных автомобильных покрышек в России составляет, по разным оценкам, от 720 тыс. до 1 млн. т. Складирование и захоронение отходов полимеров экономически неэффективно и экологически небезопасно, т.к. при длительном хранении они могут выделять в окружающую среду вещества, способные привести к нарушению экологического равновесия. К моменту утраты автомобильными шинами эксплуатационных качеств полимерный материал претерпевает лишь незначительные структурные изменения, что обуславливает возможность их вторичной переработки [1].

По всему миру главным направлением переработки изношенных шин и некоторых других изделий является регенерация резины, осуществляемая различными физико-химическими способами. Однако уровень использования изношенных резиновых изделий для регенерации низок.

Весьма условно основной процесс регенератного производства, при котором происходит деструкция вулканизационной сетки резины и ее пластификация, называется процессом "девулканизации". Это название может быть оправдано общим характером изменений внешних (физических) свойств перерабатываемого материала, в то время как по физико-химическому механизму и конечным результатам молекулярных превращений каучукового углеводорода указанный процесс не является обратным вулканизации.

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы» (конкурс НК-508П(4)).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В связи с этим продукт "девулканизации" резины по составу и свойствам в определенной степени подобен, но по структуре далеко не идентичен исходной резиновой смеси.

Тем не менее, самым важным процессом в методике регенерации каучука является процесс девулканизации резины (вулканизата).

На первый взгляд кажется, что степень девулканизации резины зависит от количества отщепленной серы, химически связанной с каучуком. Однако обессеривание резины почти не удается, так как выделение химически связанной серы обычно сопровождается разрушением структуры вулканизата.

Проведенные в этом направлении опыты ряда исследователей показали, что удается достигнуть некоторого уменьшения количества связанной серы в вулканизате, но одновременно при этом имеет место сильное разрушение структуры каучукового вещества вулканизата. Это, по-видимому, вытекает из того, что сама вулканизация является не только соединением отдельных цепных молекул каучука тиоэфирными мостиками, но, вероятно, и процессом образования пространственных структур за счет конденсации и полимеризации.

Таким образом, процесс действительной регенерации каучука из резины путем обессеривания невозможен. Удаление серы из резины происходит лишь при одновременном глубоком распаде каучукового вещества, что приводит к потере практической ценности регенерата. Анализ содержания связанной серы в продуктах, подвергаемых обработке в процессе регенерации каучука, показывает, что количество связанной серы не уменьшается, а, наоборот, в некоторых случаях даже увеличивается за счет перехода свободной серы в связанную [2].

Представление о процессе регенерации каучука как о процессе обратном (реверсивном) вулканизации, как следует из сказанного, теряет смысл. Важно, чтобы каучуковое вещество резины приобрело пластические свойства, способность соединяться с сырой резиновой смесью и ее ингредиентами и было способно к повторной вулканизации. Минеральные и органические вещества, присутствующие в резине, являются так же, как и каучуковое вещество, ценными ингредиентами резиновых смесей.

Таким образом, регенерация каучука из резин (вулканизатов) является только техническим понятием. Все методы технической регенерации каучука в результате применения механического измельчения вулканизатов, термической и химической обработки, а также вальцевания и рафинирования девулканизата приводят резину в состояние с вышеуказанными свойствами. Таким образом, регенерат представляет собой материал, получаемый из резины, которая в результате обработки потеряла эластические и приобрела пластические свойства. В таком состоянии регенерат обладает рядом ценных свойств: способностью формоваться, шприцеваться, давать резиновые смеси, образовывать дисперсии, а, главное, при повторной вулканизации служить сырьем для резиновых изделий.

В мировой практике известно много методов регенерации. Однако названия этих методов в большинстве случаев не связаны с существом основного процесса девулканизации резины и отражают только некоторые различия, касающиеся частных особенностей производственных процессов.

В настоящее время основными промышленными методами производства регенерата являются: водонейтральный (нейтральный), термомеханический (риклемейтор-процесс), паровой и его модификации: паровоздушный и паровой высокотемпературный.

Паровой метод. Смесь дробленой резины с мягчителем или мягчителем и активатором загружается в противни или металлические короба с перфорированными стенками и перегородками.

Противни или короба устанавливают на вагонетках, закатываемых в девулканизационный котел. Давление водяного пара в котле при девулканизации шинной резины 0,8-1,0 МПа.

Длительность процесса зависит от температуры в котле, типа регенерируемой резины, а также количества и химической природы мягчителя и активатора.

После завершения девулканизации вагонетки выкатывают из котла и освобождают короба или противни от девулканизата. Последний затем отправляют в отделение механической обработки девулканизата.

Водонейтральный метод. При получении регенерата водонейтральным методом девулканизация резины происходит в автоклаве в водной среде, имеющей кислую реакцию, при непрерывном перемешивании массы. Вследствие этого улучшаются условия набухания резины в мягчителе, теплопередача от стенок автоклава к резине, полностью разрушаются остатки ткани, содержащейся в резиновой крошке, и уменьшается степень загрязнения девулканизата (песком, грязью, металлическими включениями). Из-за незначительного содержания кислорода в воде, а также

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ингибирующего действия воды на процесс термоокислительной деструкции резины в этом случае значительно меньше деструкция каучукового вещества регенерируемой резины по сравнению с паровым методом.

Поэтому качество регенерата водонейтрального метода лучше по сравнению с регенератом парового метода. Кроме того, он более однороден по пластическим свойствам и содержит меньше посторонних включений.

Термомеханический метод. Резиновая крошка непрерывно подается в двухчервячный непрерывно действующий смеситель. Одновременно в смеситель подается мягчитель или, если это необходимо, раствор (суспензия) активатора в мягчителе. Аналогично в смеситель могут дозироваться также и модифицирующие добавки.

Корпус смесителя охлаждается водой с таким расчетом, чтобы выходящая из него смесь имела температуру не более 100 °С. Эта смесь затем поступает в червячный аппарат типа шприц-машины, в котором происходит девулканизация резины в тонких слоях под влиянием механических воздействий, теплоты, выделяющейся в результате деформации резины под влиянием механических усилий непосредственно в массе резины, и следов кислорода, растворенного в регенерируемой резине. Средняя длительность пребывания резины в девулканизаторе составляет не более 5-7 мин.

Температура шинного девулканизата, выходящего из головки девулканизатора, не должна превышать 190 °С.

Дальнейшее снижение температуры девулканизата достигается за счет его охлаждения водой из форсунок тонкого распыления и последующего транспортирования девулканизата с помощью шнека, охлаждаемого водой. После выхода из охлаждающего шнека температура девулканизата, направляемого на механическую обработку, не должна превышать 70-80 °С.

Радиационный метод. Под влиянием излучений высоких энергий у полимеров одновременно протекают процессы деструкции цепей и образования поперечных связей. Структурирование при этом, как правило, преобладает над деструкцией. Однако в том случае, когда основной структурной единицей является группа, содержащая четвертичный атом углерода, полимер при облучении деструктирует. К таким полимерам относятся, например, полиизобутилен, бутилкаучук и вулканизаты бутилкаучука.

Высокотемпературный метод фирмы "Данлоп". По способу фирмы "Данлоп" поверхность резины подвергается действию высокой температуры – 2000-3000°С в течение короткого времени – менее 0,5 с (предпочтительно – 2500 °С, 0,1 с). Последнее достигается за счет движения обрабатываемой поверхности по отношению к источнику теплоты со скоростью 37-40 м/с. Одновременно с воздействием пламени поверхность резины обрабатывается специальным истирающим устройством с получением мелких частиц деструктированной резины, пригодной для использования в шинных смесях.

Разработано специальное оборудование для переработки этим способом изношенных покрышек.

Нами была отработана возможность утилизации резиновой крошки для модификации битума [3]. При этом девулканизация резиновой крошки происходит непосредственно в битуме, в результате чего получается битумно-резиновое вяжущее. Был проведён анализ содержания золь-гель фракций оптимальной композиции, композиции без девулканизующего агента (ДА), самой резиновой крошки (РК) и композиции с известным деструктирующим агентом.

Таблица 1

Результаты золь-гель анализа

№	Составы	Гель-фракция (в пересчёте на каучук), %
1	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч. ДА – 0,1 м.ч.	15
2	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч.	64
3	Резиновая крошка	99
4	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч. Каптакс – 0,5 м.ч.	67

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как видно из таблицы 1, гель-фракция в первой композиции составляет всего 15 %. Анализ геля (табл. 2) показал, что при этом плотность сшитых цепей геля уменьшается более, чем в 100 раз по сравнению с исходной крошкой.

Таблица 2

Определение плотности химически сшитых цепей сетки полимера

№	Составы	Доля эластомера в набухшем образце	Плотность химически сшитых цепей сетки, моль/см^3
1	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч. ДА – 0,1 м.ч.	0,112	$6{,}23*10^{-6}$
2	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч.	0,183	$3{,}37*10^{-5}$
3	Резиновая крошка	0,369	$5{,}068*10^{-4}$
4	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч. Каптакс – 0,5 м.ч.	0,23	$7{,}52*10^{-5}$

Известные модификаторы деструкции Де-линк и Ребонд позволяют получать лишь сетку с плотностью порядка $1*10^{-5}$ моль/см^3 [4]. Основные свойства разработанной композиции в сравнении с аналогами показаны в таблице 3.

Таблица 3

Основные свойства разработанной битум-полимерной композиции в сравнении с известными аналогами

№	Состав	Темп-ра разм., ^oC	Пенетрация, 0,1 мм	Дуктильность, см	Эластичность, %
1	БНД 90/130	42	106	72	13
2	БНД 90/130 – 100 м.ч. РК – 20 м.ч. ДА – 0,1 м.ч.	61	56.2	10	76
3	БНД 90/130 – 100 м.ч. Смесевые ТЭП – 7 м.ч.	62	52	10.4	36.8
4	БНД 90/130 – 100 м.ч. Смесевые ТЭП – 10 м.ч.	72	38.4	5.65	34
5	БНД 90/130 – 100 м.ч. Элвалой 4170 – 1 м.ч.	58	96.2	20	50

Как видно из таблицы 3, разработанный состав по свойствам – температуре размягчения, пенетрации, дуктильности близок к битум-полимерной композиции на целевых полимерах – смесевых термоэластопластах (7 м.ч.), но существенно превосходит её по эластичности. Увеличение концентрации смесевого ТЭП приводит к нежелательному ухудшению дуктильности. А битум, модифицированный добавкой «Элвалой», уступает разработанной композиции по всем показателям, хотя и обладает сравнительно высокой эластичностью.

Таким образом, разработанный способ девулканизации резины позволяет получать композицию, по свойствам превосходящую известные аналоги. Этого удаётся достичь за счёт глубокой и направленной деструкции поперечных связей резины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петов Н.А. Оценка накопления изношенных покрышек в регионах России // Твёрдые бытовые отходы, 2008, № 11. – С. 50-52.
2. Макаров В.М., Дроздовский В.Ф. Использование амортизированных шин и отходов производства резиновых изделий. – Л.: Химия, 1986. – 240 с.
3. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Битум-полимерные композиции, модифицированные девулканизатами резин // Сб. научных трудов «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии. Т. 1». – Казань, 2010. – С. 478-482.
4. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты. – М.: Наука, 2004. – 172 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 625.85
А.И. Брехман – доктор технических наук, профессор
О.Н. Ильина – кандидат технических наук, доцент
А.А. Трифонов – кандидат технических наук
E-mail: trifonov@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ

АННОТАЦИЯ

Сотрудниками Института транспортных сооружений выполнены научно-исследовательские работы по разработке конструкций дорожных одежд сельских автомобильных дорог и технологий по их строительству. Республика Татарстан не обеспечена местными высокопрочными каменными материалами, поэтому в конструкциях дорожных одежд рекомендуется использовать малопрочные каменные материалы и грунты, комплексно стабилизированные органическим или неорганическим вяжущими и различными химическими добавками, а также отходами промышленности. В юго-восточных районах РТ сконцентрированы значительные объемы отходов нефтяной промышленности – нефтяные шламы. Проведенные исследования по использованию нефтяных шламов в качестве модифицирующей добавки для обработки малопрочных каменных материалов дали положительные результаты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтяные шламы, малопрочные каменные материалы, строительство автодорог.

A.I. Brekhman – doctor of technical sciences, professor
O.N. Ilyina – candidate of technical sciences, associate professor
A.A. Trifonov – candidate of technical sciences
Kazan State University of Architecture and Engineering

ORGANIC-MINERAL MIXTURES ON THE BASIS OF OIL SLUDGE

ABSTRACT

Employees of Institute of transport constructions performed research works on working out of designs of road clothes of rural highways and technologies on their building. The Republic of Tatarstan is not provided by local high-strength stone materials, therefore in designs of road clothes it is recommended to use less-strong stone materials and soil, in a complex stabilized organic or inorganic knitting and various chemical additives, and also an industry waste. In southeast areas of RT considerable volumes of a waste of a petroleum industry – oil sludge are concentrated. The carried out researches on the use of oil sludge as the modifying additive for processing less-strong stone materials have brought positive results.

KEYWORDS: petroleum wastes, less-strong stone materials, building of motorways.

В Республике Татарстан на сегодня около 900 сельских населенных пунктов не имеют связи с сетью автомобильных дорог общего пользования дорогами с твердым покрытием. С целью обеспечения полной транспортной доступности населенных пунктов Республики Татарстан заложен перевод дорог с низшим и переходным типами покрытий в облегченный асфальтобетонный тип путем проведения капитального ремонта, реконструкции и нового строительства. В качестве приоритетного показателя, регулирующего очередность проведения работ по устройству подъездов к населенным пунктам, выбрана численность их населения.

При активном участии профессорско-преподавательского состава Института транспортных сооружений КазГАСУ утверждена Законом Республики Татарстан от 3.08.2006 г. № 64-ЗРТ «Программа развития транспортного комплекса Республики Татарстан на 2006-2010 гг.», а также разработан проект программы «Развитие сети автомобильных дорог на территории Республики Татарстан на 2008-2012 годы и перспективы развития до 2017 года». И одним из важнейших приоритетов в этой Программе является обеспечение сельских населенных пунктов круглогодичной связью с дорогами общего пользования.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В рамках реализации данных программ сотрудниками института выполнены научно-исследовательские работы по разработке эффективных современных конструкций дорожных одежд сельских автомобильных дорог Республики Татарстан и технологий по их строительству.

На первом этапе был проведен анализ сырьевой базы местных природных материалов и производственных мощностей дорожно-строительного комплекса Республики Татарстан, на основе которого составлены соответствующие карты-схемы. Сырьевая база республики, с учетом дальнейшего ее развития, для производства дорожных работ достаточна, но неравномерно развита по районам. На территории республики практически отсутствуют залежи строительного камня высокой прочности. В связи с этим при строительстве сельских автомобильных дорог рекомендуется использование местных минеральных материалов с обязательной их обработкой вяжущими и добавками. В районах, где отсутствуют каменные материалы, в конструкциях дорожных одежд используются местные грунты, комплексно стабилизированные органическим или неорганическим вяжущими и различными химическими добавками, а также отходы промышленности.

Снижению стоимости строительства сельских автомобильных дорог может способствовать устройство оснований из шлаков, шлакоминеральных композиций и шлакобетонов, которые позволяют максимально использовать местные материалы и снизить или вообще отказаться от введения дорогостоящих вяжущих. Так, в 2008 году ОАО «Алексеевскдорстрой» были выполнены опытно-производственные работы по устройству четырех типов дорожной одежды из шлакоминеральных смесей на автомобильные дороги IV категории «Старые Матаки – Абдул Салманы» в Алькеевском районе Республики Татарстан. В настоящее время на данном участке осуществляется движение и производится наблюдение за состоянием дорожной одежды.

К возможности использования нефтяных шламов в строительной отрасли обращались многие исследователи. Нефтяные шламы – отходы нефтяной промышленности, имеющиеся в нашей республике.

В настоящее время объемы всех видов нефтесодержащих отходов на юго-востоке Республики Татарстан составляют более 200 тыс. т, ежегодный прирост составляет 25 тыс. т. Всего же по стране, по отраслевым данным, скопилось около 4,5 млн. т нефтешламов. Основная масса отхода сбрасывается в пруды-накопители, занимающие большие территории, что исключает их из рационального землепользования и является источником значительного загрязнения окружающей среды. Утилизация нефтешламов, содержащих в своем составе те же компоненты, что и исходная нефть, представляется, по нашему мнению, весьма перспективной для нужд дорожного хозяйства (табл. 1, 2, 3, 4).

Отсутствие опыта применения нефтяных шламов в строительстве дорог, в том числе сельских и промысловых, требует проведения широкомасштабных исследований. В Институте транспортных сооружений молодые ученые проявили большой энтузиазм, выполнив достаточно большой объем исследований о возможности использования нефтешламов в конструкциях дорожных одежд.

Таблица 1

Усредненный состав сырой тяжелой нефти РТ

Содержание, % масс				
Асфальтены	Смолы	Парафины	Сера	Летучие фракции
5.5	20	4	2	58.4

Таблица 2

Состав жидких нефтешламов

Место отбора	Вода, %	Асфальтены, %	Парафины, %	Смолы, %	Масла, %	Нерастворимый остаток (после экстракции)	Минеральный остаток, %
Пруд	22,76	4,21	6,07	14,04	49,45	2,89	0,58

Таблица 3

Состав твердых нефтешламов

Содержание, % масс					
Асфальтены	Смолы	Парафины	Непредельные углеводороды	Вода	Механические примеси
1,5-4,0	4,0-7,0	20,0-50,0	6,0-10,0	2,0-10,0	40,0-60,0

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 4

Состав битума БНД 90/130 из нефти РТ

Содержание, % масс					
№ партии	Асфальтены	Смолы	Парафины	Механич. примеси	Ароматич. соединения, фракции с T>300 ^{0}C
1	16.95	13.31	10.26	0.1	59.38
2	17.13	11.5	9.19	0.0	62.18

Как видно из таблиц, в жидких и особенно в твердых нефтешламах углеводородная составляющая значительно ниже, чем в битумах (табл. 4). Поэтому исследованию подвергались жидкие и твердые нефтешламы с точки зрения возможности их использования в качестве добавок для укрепления минеральных материалов и грунтов.

Экспериментально исследованы строительно-технические свойства минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой жидкого нефтешлама, такие как: плотность, прочность на сжатие сухих и водонасыщенных образцов при температуре 20 єС, 50 °С, коэффициент водостойкости, водонасыщение, набухание, морозостойкость, кинетика твердения материала и др. Исследованиями установлено, что введение добавок нефтешлама позволяет существенно снизить водонасыщение и набухание материала, увеличить прочность в 1,50-2,55 раза с одновременным снижением расхода цемента до 50 %. Наилучшие показатели свойств получены при расходе цемента 4-8 % и добавок нефтешлама для щебня М200 – 15 %, для щебня М400 – 10 % (табл. 5).

Таблица 5

Физико-механические показатели материалов

Наименование показателей	Требования ГОСТ 30491	Физико-механические показатели материалов, обработанных комплексным вяжущим		
		Нефтешламом и цементом*		Нефтешламом и известью*
		Щебень М200	Щебень М400	Щебень М200
Прочность на сжатие МПа, не менее при температуре 20 °С, 50 °С	1,4 0,5	1,4-1,92 0,69-1,66	1,76-3,92 1,02-3,06	1,50-4,10 1,60-1,90
Водонасыщение, % не более	10	0,13-1,36	0,29-0,40	0,34-3,05
Набухание, % не более	2	0,06-1,33	0,05-0,22	0,12-0,95
Водостойкость, не менее	0,60	0,8-0,9	0,9-0,98	0,72-0,96

Установлено, что наиболее эффективным видом химической добавки для обеспечения требуемой марки по морозостойкости обработанного материала является сульфат железа в количестве 1-2 % от массы цемента [1].

Определена область применения обработанных материалов в конструкциях дорожных одежд: в зависимости от расхода и добавок нефтешлама. Разработаны практические рекомендации по технологии приготовления минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой нефтешлама, и их применению для строительства оснований дорожных одежд.

Определены экологический и экономический эффекты применения результатов исследований. В настоящее время зона активного заражения от нефтешламовых прудов АО «Татнефть» (р.п. Карабаш) составляет 416 га, валовый выброс вредных веществ в атмосферу составляет 415,8 кг/ч. Ожидаемая экономия строительной стоимости при сокращении количества цемента на 30-50 % составляет 41,2 т на 1 км дороги. В целом же экономический эффект достигается значительный. Исследована и дана оценка экологических характеристик материалов, содержащих нефтешламы. Расчет интегрированного показателя состояния среды по методике ОДН 218.5.016-2002 показал, что производство работ по устройству дорожных одежд из органоминеральных смесей с применением нефтешламов разрешается при выполнении защитных экологических мероприятий.

Использование твердых нефтешламов приводит к улучшению физико-механических свойств материалов (грунтов и каменных материалов) с цементом или известью. Исследования показали, что

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

добавки извести положительно влияют на водно-физические и прочностные свойства смесей. Оптимальное содержание извести в смесях составляет – 6-8 %, НШ – 12-14 % от объема минеральных материалов (табл. 5).

При поиске противоморозных компонентов выбор был остановлен на битуминозных песчаниках, имеющих химическое сродство с твердыми нефтешламами. Использование битуминозного песчаника к органоминеральным смесям существенно повысило морозостойкость смесей. В частности, 30 %-ая добавка битуминозного песчаника повысила морозостойкость материала до 50 циклов [2].

Разработанные материалы по своим физико-механическим и деформативным свойствам могут быть рекомендованы для строительства дорог III, IV, V категорий к сельским населенным пунктам в качестве верхних и нижних слоев оснований, дополнительных слоев, водонепроницаемых прослоек земляного полотна с обязательным устройством поверхностной обработки или асфальтобетонного покрытия (рис.).

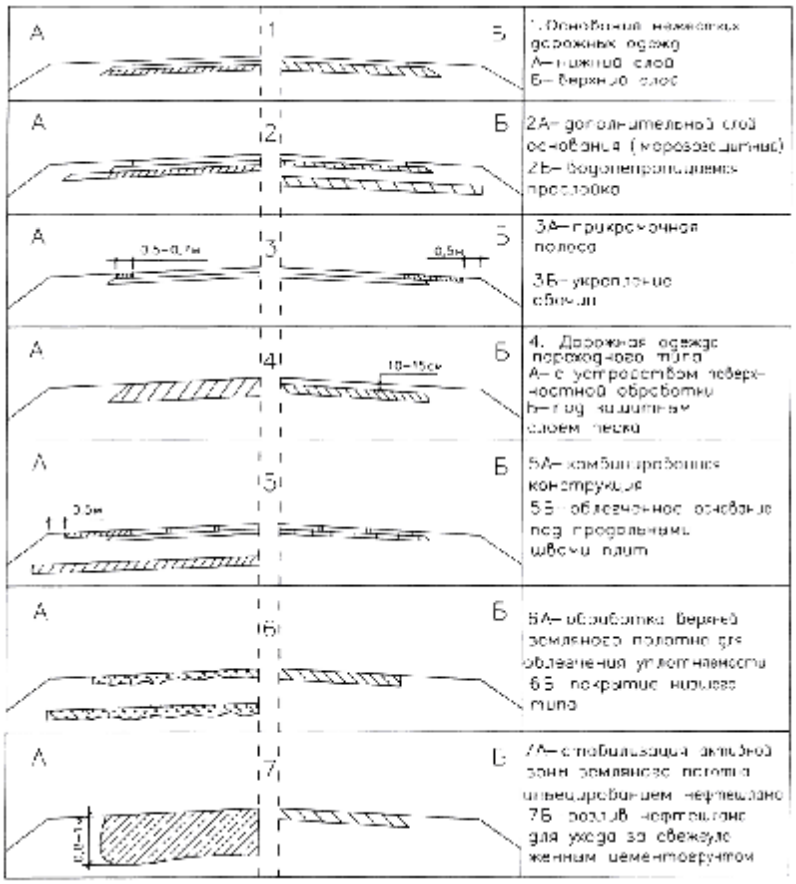


Рис. Область применения органоминеральных смесей на основе нефтяных шламов

Осуществлена опытная производственная проверка по производству укрепленных слабопрочных материалов с использованием нефтешламов на функционирующем АБЗ в Альметьевске. Сезонные наблюдения за состоянием дорожной одежды и испытания проб материалов, отобранных с участка, подтвердили положительные результаты лабораторных исследований.

По результатам исследований получены 3 патента на составы и устройство оснований из укрепленных грунтов и минеральных материалов с использованием нефтешламов.

Однако, проведенные исследования по использованию нефтешламов в конструкциях дорожных одежд – это только начало той большой исследовательской и практической работы, которую мы осуществляли. Вместе с тем, имеются вопросы технического, технологического и организационного порядка, решение которых позволит использовать нефтяные шламы в промышленном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брехман А.И., Хабибуллина Э.Н., Ильина О.Н., Фомин А.Ю., Трифонов А.А. Перспективы применения нефтешламов в дорожном строительстве Республики Татарстан // Сб. научных трудов «Современные научно-технические проблемы транспортного строительства». – Казань: КазГАСУ, 2007. – С. 161-162.
2. Брехман А.И., Хабибуллина Э.Н., Трифонов А.А. Композиционные материалы с применением нефтешламов // Наука и техника в дорожной отрасли, 2005, № 4. – С. 27-28.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.32:620.17
М.Г. Габидуллин – доктор технических наук, профессор
Р.Т. Багманов – соискатель
А.Я. Шангараев – инженер
E-mail: gabmah@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОФИБРЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОФИБРОБЕТОНА

АННОТАЦИЯ
Применение стеклофибробетона приводит к необходимости определения путей обеспечения его свойств. В работе представлены результаты исследований стеклофибробетона при различной дозировке и длине фибры.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стеклофибробетон, стеклофибра.

M.G. Gabidullin – doctor of technical sciences, professor
R.T. Bagmanov – researcher
A.Ya. Shangaraev – engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering

RESEARCH OF INFLUENCE CHARACTERISTICS GLASS FIBRE ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES GLASS FIBRE REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT
Use glass fibre reinforced concrete leads to necessity of definition ways for maintenance of its properties. In work results of researches glass fibre reinforced concrete are presented at a various dosage and length of a fiber.
KEYWORDS: glass fibre reinforced concrete, glass fibre.

Опыт строительства в стране и за рубежом показывает, что фибробетон – это один из перспективных строительных материалов XXI века [1]. Исследование дисперсно-армированных бетонов позволяет выпускать облегченные строительные конструкции с повышенной прочностью. Помимо экономических соображений, выбор волокна обуславливается тем, какими свойствами должна обладать композиция для удовлетворения заданным требованиям. Изучение возможности замены стекловолокном других волокон в бетоне показало, что получаемый прочный и относительно легкий композит с высокой вязкостью разрушения представляется весьма перспективным [2].

Стеклофибробетон сочетает в себе положительные свойства бетона, касающиеся высокой прочности на сжатие и, вместе с тем, благодаря включению в работу стеклофибры, он имеет повышенные показатели трещиностойкости, водонепроницаемости, эксплуатационной стойкости. Фибробетон, в сравнении с бетоном аналогичной марки, может иметь предел прочности на растяжение при изгибе выше в 4-5 раз, на осевое растяжение выше в 3-4 раза, ударную вязкость больше в 15-20 раз, а это важно для эксплуатации значительной части конструктивных элементов. Основные достоинства изделий из стеклофибробетона – их повышенная декоративность, архитектурная выразительность и пластичность, что может быть использовано для улучшения облика зданий. Все это способствовало увеличению интереса к стеклофибробетону и расширению областей его эффективного использования в строительстве.

Эффективность стеклофибробетона подтверждена зарубежным и отечественным опытом его применения в различных областях строительства. Первые упоминания об армировании бетонных конструкций стекловолокном относятся к 1941 г. В начале 50-х годов XX века в СССР был разработан стеклофиброцемент на основе фибры из алюмоборосиликатного стекла, которое, однако, оказалось нестойким в щелочной среде твердеющего бетона. В Англии было разработано щелочестойкое стекловолокно марки «Цем-Фил», нашедшее широкое применение в мировой

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

строительной практике. Позднее в СССР было разработано отечественное цирконийсодержащее щелочестойкое стекловолокно марок Щ-15-ЖТ, СЦ-6 [3]. Работы, относящиеся к исследованиям стеклоармированных композиций на основе цементных вяжущих, получили свое отражение в трудах К.Л. Бирюковича, П.П. Будникова, М.Т. Дулебы, М.А. Краснова, Т.Г. Маркаряна, Р.М. Мхикяна, А.А. Пащенко, В.М. Рудого, В.П. Сербина [4].

В России исследования и разработки по созданию стеклофибробетонов и конструкций с их применением основываются в значительной мере на фундаментальных исследованиях, относящихся к технологии изготовления, теории, расчету и проектированию железобетонных конструкций. Развитию производства и применения стеклофибробетона в отечественной практике во многом способствовало введение в действие Ведомственных строительных норм «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций» ВСН 56-97.

Отечественный опыт характеризуется эффективным применением стеклофибробетонных цокольных плит и панелей с различным рельефом. В коттеджном строительстве применялись большеразмерные панели совмещенной кровли с рельефом классической черепицы. Эффективно используется стеклофибробетонная декоративная плитка на белом датском цементе для устройства навесных вентилируемых фасадов многоэтажных зданий. Для малоэтажного строительства перспективно применение изделий с листовой стеклофибробетонной обшивкой, в т.ч. и в многослойных панелях с легкой теплоизоляцией. В монолитном домостроении и при реконструкции существующих зданий оптимальным решением является применение стеклофибробетонных навесных панелей, в результате чего становится возможным обновлять фасады и кардинальным образом изменить архитектурный облик реконструируемых зданий. Успешно используется стеклофибробетон в специальных областях строительства и при благоустройстве. Долговечность и стойкость СФБ в условиях воздействия внешней среды позволили применить стеклофибробетонные изделия в инженерных сооружениях на МКАД, на третьем транспортном кольце г. Москвы в качестве несъемной опалубки-облицовки путепроводов в пролетных строениях, системах водостоков на скоростных автомагистралях, для облицовки тоннелей [6].

Стеклофибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых могут быть наиболее эффективно использованы следующие его технические преимущества, по сравнению с бетоном и железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная вязкость, износостойкость, морозостойкость и атмосферостойкость;
- сокращение времени первичного и окончательного твердения, ускорение оборота форм 45 %;
- сокращение риска повреждения, разрушения при извлечении из формы: снижение риска откалывания углов и граней;
- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычном армировании, например: применение тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры и др.;
- возможность снижения или полного исключения расхода стальной арматуры, например в конструкциях с экономической ответственностью;
- снижение трудозатрат и энергозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации при производстве фибробетонных конструкций, например, сборных тонкостенных оболочек, складок, ребристых плит покрытий и перекрытий, дорожных покрытий, монолитных и сборных полов промышленных и общественных зданий, конструкций несъемной опалубки и др.;
- возможность применения новых, более производительных приемов формования армированных конструкций, например, пневмонабрызга, погиба свежеотформованных листовых изделий [5].

Главный компонент стеклофибробетона, определяющий его уникальные свойства и исключительные эксплуатационные характеристики, – это стекловолокно, выполняющее функции арматуры в бетонной матрице. Между тем, бетонные матрицы на основе портландцемента обладают значительной щелочностью. Причем эта щелочная среда присутствует в бетоне не только на этапе его производства, но и сохраняется в нем впоследствии. Когда стеклянные волокна применяют в качестве армирующего материала в сочетании с портландцементом, волокно должно противостоять воздействию содержащейся в цементе щелочи в течение длительного времени. Волокно из обычного алюмоборосиликатного стекла не стойко в щелочной среде бетона, поэтому для армирования используют стекло другого химического состава – на базе циркония.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Производственная практика выявила, что армирование бетона стекловолокном, обладающим высокой химической устойчивостью к щелочной среде, стало возможным благодаря направленной выработке волокон из стекол специальных составов [7, 8].

Производством стеклянной фибры в настоящее время занимается множество зарубежных компаний. В Японии производится массово щелочестойкое стекловолокно «Эрфайб», а для специального применения создано более стойкое к воздействию щелочей стекловолокно «Эрфайб-супер». Мировым лидером является японский стекольный концерн "Ниппон Электрик Гласс" / Nippon Electric Glass Co. Ltd (NEG). Также известны и другие производители, такие как: Fibre Technologies International Ltd (Бристоль, Англия), L'Industrielle De Prefabrication (Прист, Франция), Cem-Fil (Чикаго, США) и др. В настоящее время началось производство стекловолокна в Китае.

До 2003 года щелочестойкое стекловолокно под маркой СЦ-6 в России производил Концерн «Техстекло» (НПО «Стекло»). Также в настоящее время, совместно с германской компанией «P-D Glasseiden GmbH Oschatz», ведется строительство завода стекловолокна и продукции на его основе в г. Елабуга. Начало производства стекловолокна запланировано на апрель 2010 г.

Стеклофибра дозируется в смесь в разных объемах на 1 мі бетона. Так, например, в зависимости от технологии производства дозировка варьируется в пределах 30-100 кг/мі.

В исследованиях использовались следующие материалы.

1. В качестве вяжущего:

- цемент белый AALBORG WHITE ® (производство Дания), «Portlandcement CEM I 52,5 R», в соответствии с единым стандартом EN 197-1: 2000 применена CE-маркировка: EC: 1035-CPD-70054. Упакован в мешках по 25 кг. Начало схватывания –120 мин., конец – 240 мин. Прочность при сжатии: требование стандарта – более 38,0 МПа, после термообработки фактическая прочность – 42,83 МПа;
- Вольский портландцемент со свойствами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики Вольского портландцемента

Наименование показателей	Единицы измерения	Численные значения свойств цемента
Средняя активность в возрасте: - 3 суток, - 28 суток	 МПа МПа	 33,8 54,5
Нормальная густота	%	24
Сроки схватывания: - начало, - конец	 мин. мин.	 145 200
Минералогический состав: - C_3S, - C_2S, - C_3A, - C_4AF	 % % % %	 64 17 4 15
Тонкость помола	%	10,5
Содержание SO_3	%	2,28

2. В качестве мелкого заполнителя использовался мытый обогащенный речной песок производства г. Зеленодольск (РТ), свойства которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства песка

Наименование параметров	Единицы измерения	Требование стандарта	Протокол испытаний ЛИАЦ «Качество»
Насыпная плотность	кг/м^3	-	1525
Содержание пылевидных и глинистых частиц	%	не более 5	0,2
Содержание глины в комках	%	не более 0,5	0
Модуль крупности	-	-	1,37
Песок относится	-	-	ко II классу
Группа песка	-	-	«очень мелкий»

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3. Армирование осуществлялось щелочестойкой стеклофиброй (пр-во Китай), длиной 5, 10, 20, 30 мм, нарубленной из ровинга. Дозирование нарубленной стеклянной фибры в бетонную матрицу осуществлялось в объеме 5, 10, 15, 20, 25 кг/мі. Характеристики фибры приведены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства стеклоровинга AR-GLASS FIBER SPRAY UP ROVING

Наименование параметров	Единицы измерения	STANDART: JC/T572-2002	Данные из паспорта качества поставщика
Содержания циркония	%	14,5 ± – 0,8	14,78
Отклонение веса бобины	%	≤ 6	2,4
Влажность	%	< 0,2	0,027
Модуль эластичности (Юнга)	ГПа	70-74	72,0
Температура плавления	град. С	830	860
Растяжение на разрыв	%	2 % или 60 кгс	2,4
Предел прочности на растяжение	МПа	-	1800

Высушенный песок, цемент и стекловолокно смешивали в лабораторной чаше вручную до получения гомогенного состава, затем добавляли воду до образования однородной массы. Формовали контрольные образцы балочки 0,04х0,04х0,16 м на стандартной лабораторной виброплощадке и затем их выдерживали в камере твердения в нормальных температурно-влажностных условиях, в соответствии с требованиями ГОСТ 18105.0-80 и ГОСТ 8829-85. Испытания прочности образцов проводились по стандартной методике.

По результатам испытаний были получены зависимости прочностных свойств стеклофибробетона от количества вводимой фибры.

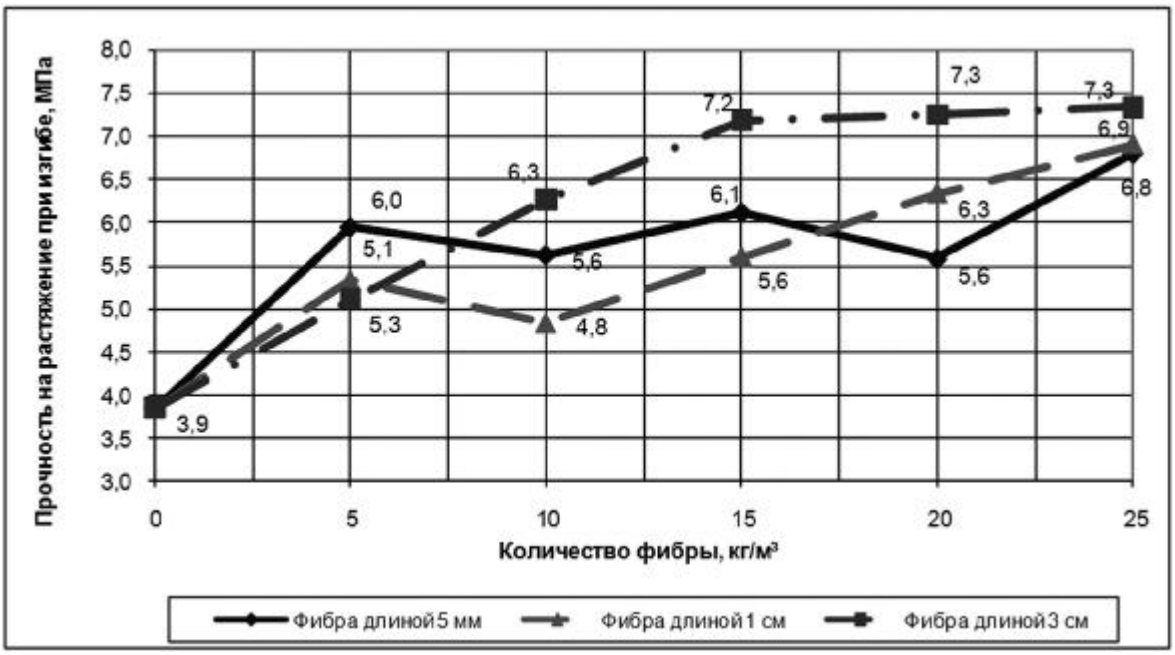


Рис. 1. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе фибробетона на цементе Aalborg (Дания) от количества и длины волокон стеклянной фибры

Анализ характера кривых на рис. 1 показывает, что армирование бетонной матрицы на датском цементе стеклянной фиброй способствует увеличению прочности бетона на растяжение при изгибе, по сравнению с бетоном без армирования, причем в лучшей степени для волокон длиной 1 см, а затем по степени убывания для волокон длиной 0,5 и 3 см.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

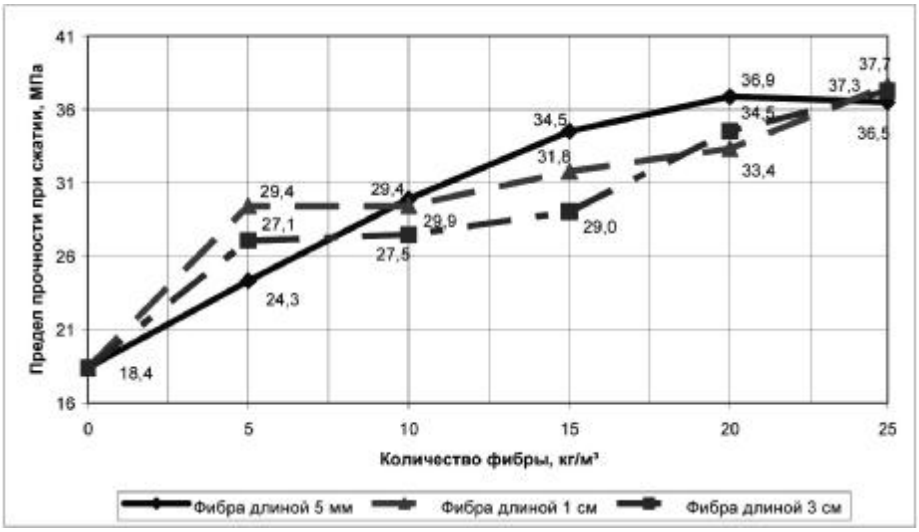


Рис. 2. Зависимости изменения предела прочности при сжатии фибробетона на цементе Aalborg (Дания) от количества и длины волокон стеклянной фибры

При максимальном введении фибры (до 25 кг/м^3) прочность на растяжение при изгибе увеличивается по сравнению с матрицей на 74 %, на 76,9 % и на 87,2 % соответственно для длины волокон в 0.5, 1.0 и 3.0 мм. В то же время, экономически целесообразнее ограничиться дозировкой фибры, равной 5 кг/м^3, для волокон длиной 0.5 и 3 мм, а для длины 1 мм лучше вводить до 15 кг/м^3, так как дальнейшее увеличение объема фибры сверх указанных практически не способствует повышению прочности.

Аналогичный характер кривых наблюдается и для зависимости прочности фибробетона при сжатии от количества волокон (рис. 2). С увеличением дозировки стеклянной фибры от нуля до 25 кг/м^3 прочность на сжатие увеличивается с 18,4 до 36,5-37,7 МПа. При дозировке волокон до 5 % прочность увеличивается на 59,8 %, 47,3 % и 32,1 %, соответственно для волокон длиной 1.0, 3.0 и 0.5 см, а при дальнейшем увеличении объема волокон в смеси происходит примерно равное возрастание прочности фибробетона независимо от длины волокна.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе и на сжатие стеклофибробетона от вида цемента и объема фибры. Видно, что на Вольском цементе прочность бетонной матрицы значительно выше, чем на датском цементе: на растяжение при изгибе на 15,4 %, при сжатии на 15,6 %, а при увеличении дозировки стеклянной фибры прочность возрастает и характер кривых практически не зависит от вида цемента. Армирование стеклянной фиброй способствует увеличению прочности на растяжение при изгибе бетона на Вольском цементе на 17,8 % при 15 % фибры, а прочность на сжатие – на 28 %.

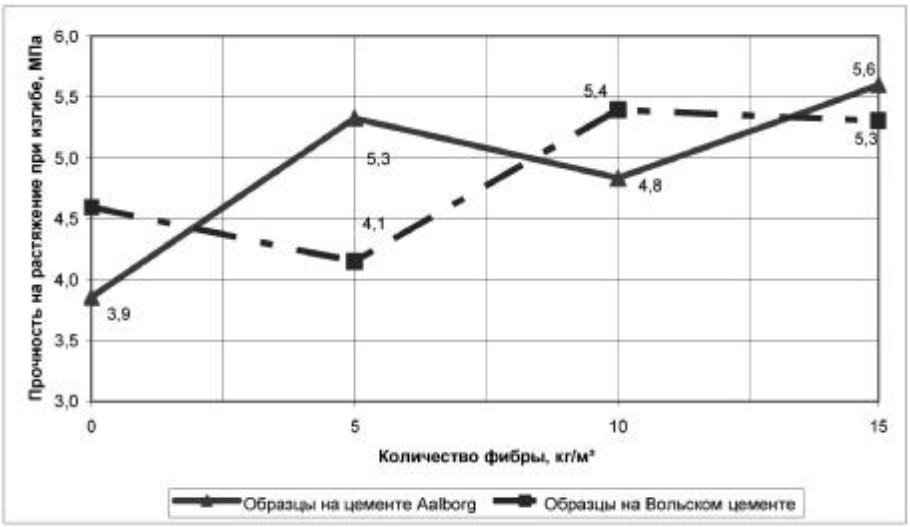


Рис. 3. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе стеклофибробетона на различных видах цемента от количества фибры длиной 1 см

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

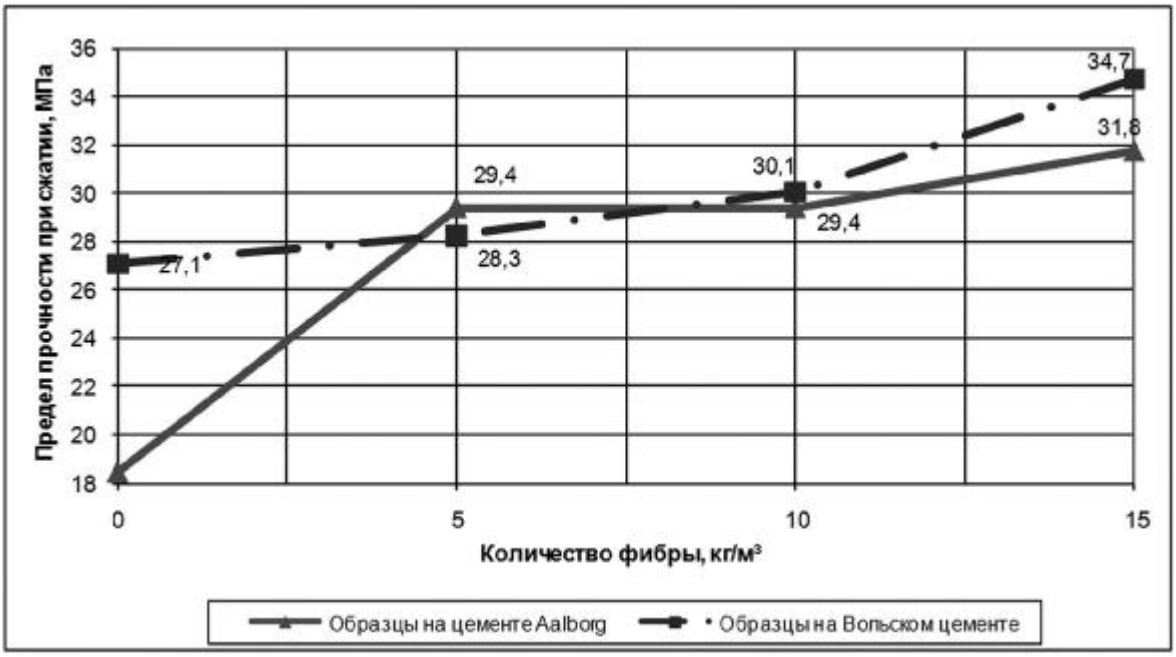


Рис. 4. Зависимости изменения предела прочности при сжатии стеклофибробетона на различных видах цемента от количества фибры длиной 1 см

Таким образом, результаты исследований позволяют сформулировать следующий вывод:

- армирование мелкозернистого бетона рубленной из ровинга стеклянной фиброй позволяет значительно увеличивать прочность на растяжение при изгибе и на сжатие;
- прочность на растяжение при изгибе можно увеличить по сравнению с матрицей на 74-87,2 % при введении волокон длиной 0,5-3 см до 25 кг/м^3, а прочность при сжатии на 18,4-37,7 %;
- экспериментами установлено, что оптимальная длина стеклянной резаной фибры составляет 1 см, а экономически целесообразная дозировка волокон в бетонную смесь составляет – 5-7,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы, 2004, № 6. – С. 12-13.
2. Юрьев А.Г., Лесовик Р.В., Панченко Л.А. Дисперсно армированный мелкозернистый бетон с использованием техногенного песка // Известия вузов. Строительство, 2008, № 11, 12. – С. 121-127.
3. Рахимов Р.З. Фибробетон – строительный материал XXI века // «Экспозиция» 2 б (54). Бетон и сухие смеси, 2008.
4. Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // ALITInform международное аналитическое обозрение, 2009, № 2.
5. ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций».
6. Анацкий Ф.И. Стеклофибробетон – современный материал с широким диапазоном свойств и областей эффективного применения в строительстве // URL: http://www.master-grad.ru.
7. Харчевников В.И. Основы структурообразования стекловолокнистых полимербетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1987, № 11. – С. 62-66.
8. Lorenzis L. de, Miller B., Nanni A. Bond of FRP laminates to concrete // ACI Material Jornal, 2001, V98, – P. 256-264.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 666.3.046.44
М.Г. Габидуллин – доктор технических наук, профессор
А.А. Миндубаев – аспирант
E-mail: almaz123@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Т.З. Лыгина – доктор геолого-минералогических наук, профессор
Г.Г. Исламова – аспирант
Д.В. Вассерман – аспирант
ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»

ЛАБОРАТОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВОГО ФАСАДНОГО КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА «ТАТКЛИНКЕР» НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

АННОТАЦИЯ
Представлены опытные результаты получения клинкерного кирпича на основе местных глин РТ. Изучен фазовый состав и термическое поведение глинистых пород различных месторождений. Установлены оптимальные составы шихты для получения клинкерного фасадного кирпича. Определены технико-эксплуатационные показатели полученных изделий.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: керамика, клинкерный, высокопрочный, кирпич.

M.G. Gabidullin – doctor of technical sciences, professor
A.A. Mindubaev – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering
T.Z. Lygina – doctor of geological minerals sciences, professor
G.G. Islamova – post-graduate student
D.V. Vasserman – post-graduate student
The Central Scientific Research Institute of Geology of Industrial Minerals

APPROBATION OF POSSIBILITY OF MANUFACTURE CLINKER BRICK ON THE BASIS OF LOCAL CLAYS OF TATARSTAN REPUBLIC

ABSTRACT
Experimental results of produced clinker brick on the basis of local Tatarstan Republic clays are presented. The phase structure and thermal behaviour of various deposits clay rocks is studied. Optimum composition mixture for produced the clinker front brick are determined. Technical operating indexes of produced products are defined.
KEYWORDS: ceramic, clinker, brick.

В последние годы наблюдается повышение интереса со стороны строителей, архитекторов и дизайнеров к клинкерному фасадному кирпичу. Это связано с увеличением критики в адрес многослойных стен, в которых для облицовки фасадов используется керамический фасадный пустотелый кирпич с толщиной наружной стенки 12 мм, который регламентируется требованиями основного отечественного стандарта на керамический кирпич ГОСТ 530-2007. Такая маленькая толщина наружной стенки кирпича очень часто не защищала кладку от проникновения вовнутрь влаги, и поэтому зимой при отрицательных температурах вода замерзала и лед при расширении разрушал наружную стенку, оголяя на фасадах пустоты кирпичной кладки. В связи с этим в Москве и многих городах России запретили использовать для облицовки фасадов кирпич с низкой морозостойкостью и тонкими наружными стенками пустот. Поэтому многие строительные организации для облицовки фасадов зданий переориентировались на использование зарубежной продукции – клинкерного фасадного кирпича, который обладает морозостойкостью F100 и более и имеет толщину наружных стенок пустот более 16 мм.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Архитекторы очень часто говорят, что фасад – это визитная карточка дома. Поэтому для воплощения своих дизайнерских решений и подчеркивания своей индивидуальности при строительстве современных малоэтажных зданий они предлагают фасады из клинкерного кирпича, так как они прослужат вечно, обладают архитектурной выразительностью, эстетической привлекательностью, смотрятся по-европейски стильно и солидно, выглядят безупречно.

Сегодня строительные организации закупают с доставкой клинкерный кирпич из дальнего зарубежья по цене 50-100 рублей, а из Украины по цене 25-35 руб./шт.

В России клинкерный кирпич производится только на одном предприятии в Голицыно (Подмосковье). Лицевой кирпич, производимый группой компаний «Голицынский кирпич», хотя и не является фасадным клинкерным, но отличается высоким качеством: морозостойкость F100, марка 175, толщина наружной стенки пустот 20 мм, широкая цветовая гамма, фактура, номенклатура, цена – от 10 до 35 рублей в зависимости от типоразмеров и наименования продукции. Мостовой клинкер под названием «камень клинкерный» имеет марку по прочности 500-700, морозостойкость F200, водопоглощение 2-4 %, размеры 200x100x55 мм, цена – 23,75 руб./шт.

На Украине единственным заводом, специализирующимся на выпуске клинкерной керамики, является «Керамейя», который выпускает клинкерный лицевой пустотелый кирпич и дорожную брусчатку под маркой «КлинКерам». Его продукция соответствует украинским ТУ У В2.2.7-26.4-34327895-001:2008 «Керамический клинкер для облицовки фасадов «КлинКерам» и дорожная брусчатка «БрукКерам». Основные технические характеристики фасадного пустотелого (менее 38 %) клинкера марки М350: предел прочности на сжатие – более 35 МПа, предел прочности при изгибе – более 4,9 МПа, водопоглощение – менее 5 %, морозостойкость – более F150. Номенклатура: различные фасонные кирпичи, различная фактура поверхности, достигаемая за счет рельефа поверхности или декорирования крошкой разных цветов. Цветовая гамма: рубин, янтарь, оникс, Магма гранит, Магма топаз, Магма диабаз, Рустика Оникс, Рустика Рубин 1, Рустика Топаз 3, Рустика Гранит 23, Рустика Гранит 43, Рустика Гранит 53.

Основные же производители клинкерного кирпича находятся в Европе. Требования к параметрам клинкерного кирпича, регламентируемые стандартами различных стран, близки по своим показателям.

Российский нормативный документ на клинкерный кирпич [1] регламентирует марку по прочности на сжатие от М250 до М800, морозостойкость F50, F75, F100, водопоглощение – не более 7 %, среднюю плотность – классы 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0 и 2,2. Номинальные размеры кирпича представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вид кирпича	Размеры кирпича лицевого кладочного		
	Длина	Ширина	Толщина
Одинарный (0)	250	120	65
«Евро» (Е)	250	85	65
Модульный (М)	240	115	71
	240	85	71
	240	115	52
	240	115	113

Марку кирпича по прочности определяют по таблице 2, используя данные испытания стандартных образцов на сжатие и изгиб.

Анализируя изложенные выше данные из ТУ 5741-001-34854050-08 и таблиц 1 и 2, взятые из того же документа, следует отметить недостаточно высокое значение верхней границы морозостойкости, принятое F100. Видимо, этот показатель следует увеличить до F300, а нижнее значение водопоглощения принять менее 5 %, так как клинкерный кирпич получается путем спекания шихт при температурах 1200-1250 °С. Известно, что спекшаяся керамика – это керамика с водопоглощением менее 5 %. Кроме того, в таблице 2 две нижние ступени марки по прочности, равные «250» и «300», необходимо убрать, так как эти показатели соответствуют прочности типового кирпича и камня по основному стандарту ГОСТ 530-2007.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 2

Нормативные показатели прочности клинкерного кирпича на сжатие и изгиб

Марка	Предел прочности не менее, МПа			
	При сжатии		При изгибе	
	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
800	800	750	8,4	4,2
750	750	700	7,9	3,9
700	700	650	7,4	3,6
650	650	600	6,9	3,4
600	600	550	6,4	3,2
550	550	500	5,9	2,9
500	500	450	5,4	2,7
450	450	400	4,9	2,4
400	400	350	4,4	2,2
350	350	300	3,9	1,9
300	300	250	3,4	1,7
250	250	200	2,9	1,5

В качестве аналога в наших исследованиях принят фасадный клинкерный кирпич, выпускаемый известной немецкой фирмой HAGEMEISTER, технические характеристики которого приведены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства фасадного клинкерного кирпича HAGEMEISTER

Параметры	Требование согласно DIN V 105-1	Клинкер HAGEMEISTER	Требование выполнено	Соответствие классу
Диапазон отклонения размеров	Длина ≤ 6 мм Ширина ≤ 4 мм Высота ≤ 3 мм	0 мм 2 мм 1 мм	да	Класс R1
Морозостойкость	50 циклов замораживания-оттаивания	> 50 циклов изменений нет	да	Класс F2 (DIN 52252)
Кислотостойкость	≤ 6 %	1,20 %	да	DIN 102
Средняя плотность	≥ 1,80 кг/дм^3	2,30 кг/дм^3	да	Класс D1
Предел прочности при сжатии	≥ 28 Н/мм	125,80 Н/мм	да	DIN 772-1
Водопоглощение	≤ 7 %	2,97 %	да	DIN 772-1
Содержание солей	$Na^+ + K^+$ Mg^{2+}	0,00 % 0,00 %	да	Класс S2

Из данных таблицы 3 видно, что клинкерный фасадный кирпич, выпускаемый фирмой HAGEMEISTER, превосходит по своим характеристикам требования немецкого стандарта, так как обладает очень высокой прочностью при сжатии, высокой средней плотностью и низким водопоглощением. При этом нормативные требования DIN V 105-1 по морозостойкости и водопоглощению для фасадного клинкера регламентируют «мягкие» показатели: для морозостойкости – F50, для водопоглощения – ≤ 7 %. Эти показатели для фасадного клинкера по немецким и российским нормативным документам одинаковые. Следует подчеркнуть, что в российском документе нет ограничений по содержанию солей, в немецком их содержание не допускается.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Анализ рассмотренного выше отечественного нормативного документа позволил установить основные ориентиры на технические характеристики фасадного клинкера, а изучение свойств зарубежных аналогов позволяет решать вопросы создания клинкера с более высокими показателями свойств, повышая тем самым конкурентоспособность продукта на внутреннем и внешнем рынках.

Целью работы является апробация возможности получения клинкерного фасадного кирпича на основе кирпично-черепичных глин Республики Татарстан.

Положительные результаты исследований могут быть использованы для строительства на территории Татарстана завода по производству конкурентоспособного клинкерного кирпича, так как изготовленные из местных материалов кирпичи будут экономически выгодны, по причине низкой себестоимости изготовления и низких транспортных расходов на перевозку. Рынок клинкерного кирпича в Республике Татарстан в настоящее время не развит и примерно на 70 % заполнен продукцией из дальнего зарубежья, на 30 % – из Украины. Спрос на фасадный клинкер в РТ будет обеспечиваться высокими темпами строительства зданий и сооружений с использованием для внутренней версты стен крупноформатных керамических теплоэффективных камней POROTHERM, а для наружной версты – фасадного клинкера. Кроме того, в Казани ведется подготовка к Универсиаде-2013, для которой возводится большое количество различных спортивных комплексов, олимпийская деревня. Здесь также может пригодиться клинкер.

На кафедре строительных материалов КазГАСУ были проведены лабораторно-технологические исследования по разработке многокомпонентных шихт для получения клинкерного фасадного кирпича на основе местных кирпично-черепичных глин РТ. Для регулирования свойств клинкера в качестве добавочного компонента была использована привозная тугоплавкая Ново-Орская глина (Оренбургская область). Сложность производства клинкерного кирпича в РФ и РТ заключается в отсутствии кондиционных глин, т.к. в чистом виде наиболее распространенные кирпично-черепичные глины не пригодны для производства клинкерного кирпича, а географическое расположение месторождений огнеупорных и тугоплавких глин неоднородно по территории России. Республика Татарстан также не имеет месторождений глин, пригодных для производства клинкера.

Для реализации цели работы решались следующие задачи:

- изучение основных характеристик отобранных проб глин,
- отработка технологических режимов получения клинкера;
- исследование влияния состава шихты на физико-механические свойства клинкера;
- изготовление контрольного образца клинкерного кирпича стандартных размеров.

Материалы, использованные в исследованиях.

Методом синхронного термического анализа (ТГ-ДТГ, ДСК) и методом рентгенографического анализа были исследованы 3 образца глины Калининского, Тураевского, Ново-Орского месторождений РТ.

Глина **Калининского** месторождения легкоплавкая, среднепластичная (П-17,5), среднечувствительная к сушке, неспекающаяся, содержание крупных фракций до 20 %. Химический состав, мас. %: SiO_2 – 65-71,12; (Al_2O_3+ TiO_2) – 12,55-13,12; Fe_2O_3 – 5,88-7,02; CaO – 1,55-2,02; MgO – 1,09-2,12; Na_2O – 0,45-0,65; K_2O – 1,88-2,15; SO_3 – 0,12-0,25; п.п.п. – 2,15-3,50.

Из анализа полученных термоаналитических кривых видно, что для образца глины Калининского месторождения характерны потери массы (4,01 %) в низкотемпературной области 27-230 єС. Данный эффект соответствует удалению адсорбционной и межслоевой молекулярной воды монтмориллонита. Потеря массы (2,13 %) в среднетемпературном интервале 380-650 єС связана с дегидроксилизацией каолинита. В этом же интервале на ДСК-кривой наблюдается эндотермический эффект с пиком при 582 єС – обратимое полиморфное превращение б-кварца в в-кварц. В высокотемпературной области явно выраженных термических эффектов, сопровождающихся потерей массы, не наблюдается. Однако, фиксируется экзотермический эффект кристаллизации муллита на ДСК-кривой при 912 єС.

С помощью рентгенографического анализа в пробе глины «Калининская» был определен следующий минеральный состав: кварц – 35 %, плагиоклаз – 7 %, К полевой шпат – 7 %, глинистые минералы: монтмориллонит – 42 %, слюда – 5 %, хлорит и каолинит – 4 % а также отмечается примесь гетита. В структуре монтмориллонита возможно присутствие до 15 % неразбухающих слюдоподобных слоев. Таким образом, глина Калининского месторождения является преимущественно монтмориллонитовой.

Глина **Тураевского** месторождения, по данным термического анализа, показывает на схожесть эффектов в низко- и среднетемпературной области, связанную с присутствием монтмориллонита и каолинита. Вместе с этим следует отметить разницу интенсивностей эффектов. В глине Тураевского

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

месторождения содержание монтмориллонита и каолинита примерно в два раза меньше, чем в глине Калининского месторождения. Также фиксируется экзотермический эффект на ДСК-кривой, соответствующий обратимому полиморфному превращению кварца при 579 єС. В высокотемпературной области 650-850 єС регистрируется эффект, принадлежащий диссоциации карбонатной составляющей глины (3,78 %), что в пересчете на кальцит составляет 9±2 %.

Анализ рентгендифракционных спектров образца глины «Тураевская» показал наличие кварца в количестве 39 %, плагиоклаза – 12 %, К полевого шпата – 7 %, кальцита – 8 %, глинистых минералов: монтмориллонита – 26 %, слюды – 4 %, хлорита и каолинита – 4 %, также отмечается примесь гетита и наличие минералов группы амфиболов на уровне погрешности определения. В структуре монтмориллонита также может присутствовать до 10-15 % неразбухающих слюдоподобных слоев.

В глине **Ново-Орского** (Оренбургская область) месторождения регистрируются два явно выраженных термических эффекта на ТГ-ДТГ-кривых: в низкотемпературной (27-200 єС) и среднетемпературной (375-700 єС) областях. Первый эндотермический эффект относится к удалению адсорбционной воды, второй связан с дегидроксилизацией каолинита (6,49 %). Глина Ново-Орского месторождения, по данным термического анализа, характеризуется как существенно каолинитовая.

Данные рентгенографического анализа образца глины Ново-Орского месторождения также показывают, что он представлен преимущественно каолинитом (65 %). Помимо каолинита, из глинистых минералов фиксируется слюда (5 %) и неупорядоченный смешанослойный слюда-монтмориллонит (4 %) с высоким содержанием слюдяных слоев. Неглинистые минералы представлены в основном кварцем (25 %) и примесью анатаза (1 %).

Минеральный состав глины Ново-Орского месторождения является более предпочтительным для составления многокомпонентных шихт с целью получения клинкерного фасадного кирпича, поскольку основной компонент – каолинит – улучшает такие технологические свойства, как тугоплавкость, водопоглощение, средняя плотность, предел прочности при сжатии.

Соответственно, основные различия в технологических свойствах готовой продукции клинкерного кирпича, полученного из глин различных месторождений, обусловлены их фазовыми (минеральными) составами и поведением фаз в процессах обжига.

Были составлены композиционные смеси глин различных месторождений:

1 – Тураевская глина+Ново-Орская глина+песок; 2 – Калининская глина+Ново-Орская глина+песок.

Сопоставление полученных результатов технологических испытаний показывает существенное различие между ними.

В качестве отощителя целесообразно использовать мытый и высушенный **кварцевый песок.** В работе был использован песок фракции менее 2,5 мм, с модулем крупности – 2,5 (г. Зеленодольск, РТ).

Лабораторно-технологические испытания.

Лабораторно-технологические исследования проводились в следующей последовательности. Глины предварительно отмачивались в течение 48 часов в воде с температурой 20 ^{o}С, шликер пропускался через сито 0,315 мм и сушился до полного удаления влаги. Затем глина размалывалась в шаровой мельнице в течение 5-20 минут, просеивалась через сито 0,14 мм. Смешение компонентов шихты производили ручным способом в чашах, добавляли 19 % воды и отлеживали массу в герметично упакованных полиэтиленовых мешках в течение 24 часов. После этого массу в мешках предварительно нагревали в сушильной камере до 30-35 ^{o}С, шихту вручную разминали и формовали контрольные образцы-кубы 5х5х5 см. Сушили образцы в сушильной камере типа СНОЛ до остаточной влажности менее 4 % и высушенные образцы переносили в лабораторную электрическую печь, где осуществляли обжиг путем постепенного подъема температуры до 1100 °С с выдержкой в течение 1 часа. Остывание образцов производили вместе с печью после ее отключения.

Обожженные образцы подвергали стандартным испытаниям. Были проведены исследования основных физико-механических свойств: водопоглощение и плотность по ГОСТ 7025-91 [2], прочность на сжатие по ГОСТ 8462-85 [3].

Результаты испытания контрольных образцов позволили получить зависимости (рис. 1) изменения средней плотности, водопоглощения и предела прочности при сжатии от количества добавленной в шихту тугоплавкой Ново-Орской глины.

Из рис. 1 видно, что на чистой Тураевской глине невозможно получить клинкерный кирпич, удовлетворяющий по свойствам требованиям ТУ [2], так как образцы имеют следующие свойства: прочность при сжатии – 27,1 МПа, водопоглощение 6,3 %, среднюю плотность – 2,046 кг/м^3. Больший оптимизм вызывают результаты испытания образцов на Калининской глине: прочность при сжатии – 40,0 МПа, водопоглощение 5,6 %, средняя плотность – 2,117 кг/м^3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

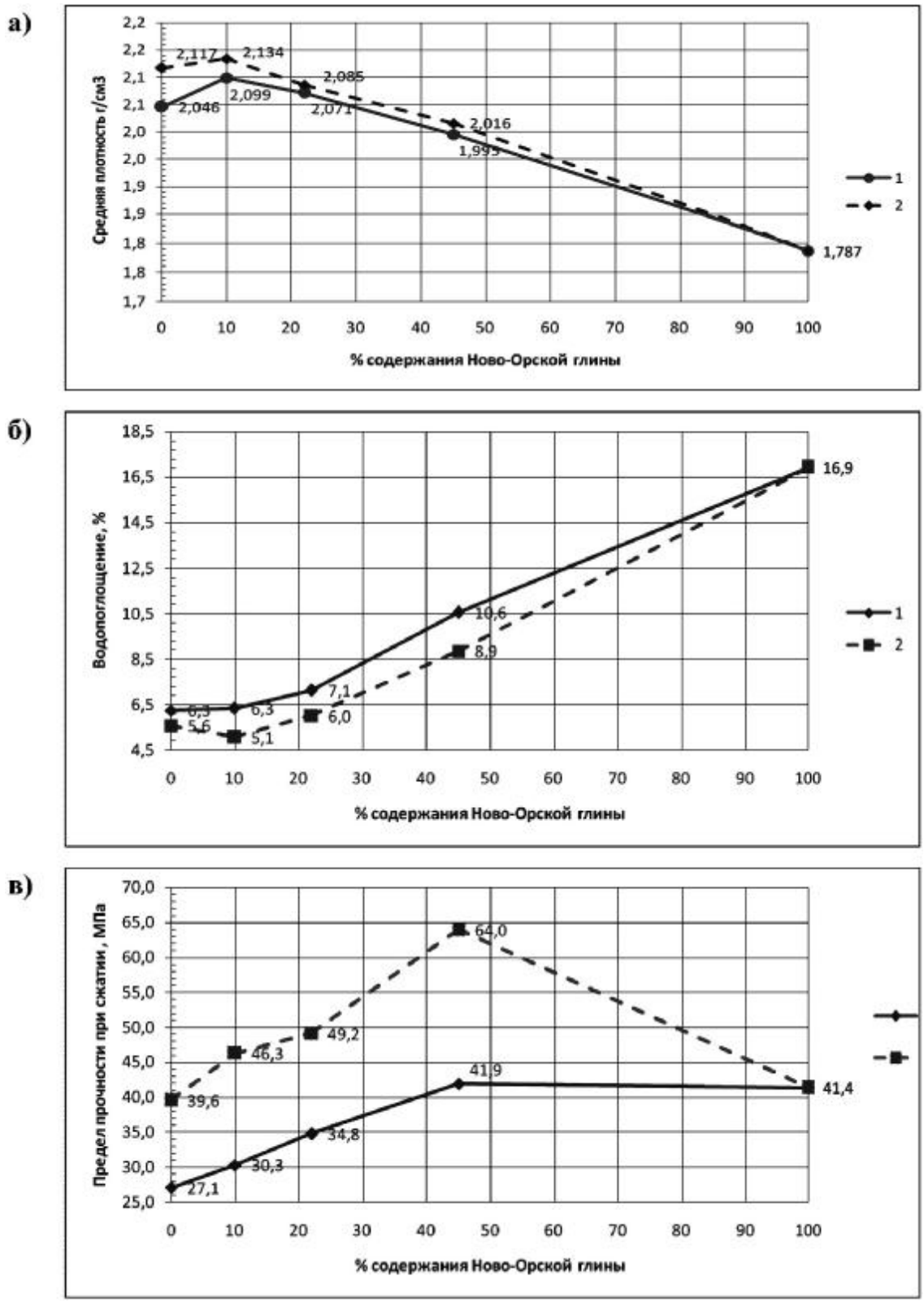


Рис. 1. Зависимости изменения средней плотности (а), водопоглощения (б) и предела прочности на сжатие (в) обожженных образцов от содержания в шихте Ново-Орской глины:
1 – Тураевская глина + Ново-Орская глина + песок; 2 – Калининская глина + Ново-Орская глина + песок

Анализ характера кривых, представленных на рисунке 1а, показывает, что с введением Ново-Орской глины до 10 % от массы шихты на Калининской и Тураевской глинах средняя плотность образцов клинкера увеличивается незначительно (0,8-2,6 %). Дальнейшее увеличение доли тугоплавкой глины от 10 до 100 % способствует снижению средней плотности до 17,5-19,4 %. При этом происходит логичное незначительное снижение водопоглощения (рис. 1б) образцов клинкера

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

при 10 % добавки Ново-Орской глины, а затем значительное почти линейное увеличение в 2,68-3,31 раза при 100 % составе шихты из тугоплавкой глины. Это свидетельствует о том, что Ново-Орская глина увеличивает температуру спекания. По ТУ [2] водопоглощение клинкерного кирпича должно быть менее 7 %. Поэтому образцы с содержанием Ново-Орской глины больше 10 % для шихты на основе Тураевской глины и с содержанием Ново-Орской глины больше 21 % на шихте из Калининской глины не соответствуют ТУ.

Из рис. 1в видно, что введение 10 % Ново-Орской глины повышает предел прочности при сжатии обожженных образцов в 1,52 раза для шихт из Тураевской глины и в 1,61 раза для шихт из Калининской глины при введении 21 % Ново-Орской глины.

Анализ результатов исследований показывает, что для производства клинкерного кирпича наиболее предпочтителен состав из 71 % Калининской глины, 21 % Ново-Орской глины и 8 % кварцевого песка, который после апробации разработанных составов, например, на опытно-промышленной технологической линии производства кирпича ЦНИИгеолнеруд, можно рекомендовать для внедрения в производство. Этот состав позволяет получать контрольные образцы клинкера с пределом прочности при сжатии – 49,2 МПа; водопоглощением – 6 % и средней плотностью – 2,08 г/см^3.

Разработанный состав клинкерного кирпича и технологические режимы его получения обладают элементами НОУ-ХАУ, поэтому на него подана заявка в Роспатент для получения изобретения. Из разработанного состава на кафедре строительных материалов пластическим способом был сформован и после обжига получен звонкий полнотелый клинкерный кирпич светло-кремового цвета размером 250х120х65 мм. Трещины и посечки отсутствовали. Данный образец, на постели которого вырезано название «ТатКлинкер», выставлялся на V Венчурной ярмарке в Казани и вызвал значительный интерес потенциальных инвесторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 5741-001-34854050-08 «Кирпич клинкерный» с изм. № 1.
2. ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости».
3. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе».

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 666.9
И.А. Женжурист – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет
В.М. Зарипова – аспирант
Л.Ф. Мубаракшина – ассистент
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор
E-mail: khozin@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНО И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ ДОБАВКАМИ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена изучению влияния нанодисперсных частиц гидрозолей оксидов кремния и алюминия, а также высокодисперсных зольных отходов ТЭС-2 г. Казани на структурообразование Новониколаевской глины Татарстана. Исследовано действие наноразмерных гидрозолей, термоактивации глины на процесс седиментации частиц глины и золы в водной среде, а также структурообразование модифицированной нанозолями зологлиняной композиции при формировании материала в процессе обжига. По изменению прочности на сжатие и плотности образцов проанализирована зависимость модифицирования зологлиняной композиции от типа нанозолей и последовательности их добавки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанодисперсные частицы, гидрозоли оксидов кремния и алюминия, водные суспензии Новониколаевской глины и золы, структуры золей и осадков, прочность на сжатие, плотность.

I.A. Jenjurist – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State Power Engineering University
V.M. Saripova – post-graduate student
L.F. Mubarakshina – assistant
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

PARTICULARITIES OF STRUCTURIZATION OF CERAMIC MASSES DUSTY LOAMS, MODIFIED NANO AND HIGH DISPERSED ALUMINUM SILICON ADDITIVES

ABSTRACT

Work is denote studying an influence of nanodispersed particles an hydrosol oxides silicon and aluminum, as well as high dispersed ashes waste WES-2 Kazan. On the structurization an Newnikolaevsk clay Tatarstan. Explored action nanodispersed hydrosols, termoaktive clay on the process an precipitate particles of clay and ashes in the water ambience, as well as structurization modified nanosol an ashes clay to compositions when shaping a material in the process burning. On changing toughness on the compression and density of samples is analyse dependency of modifying an ashes clay to compositions from the type an nanosol and sequence of their additive.

KEYWORDS: nanodispersed particles, hydrosol oxideses silicon and aluminum, water suspensions Newnikolaevsk clay and ashes, structures by ash and precipitation, toughness on compression, density.

Формование большинства керамических материалов, изделий производится из водно-глинистых пластичных масс различной влажности, как для литьевой, так и полусухой технологии. Зерновая структура керамического материала в обоих случаях формируется из водно-глинистых суспензий. В случае литьевой технологии весь объём изделия, а в случае полусухой технологии –

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

зерно порошка, получают из водно-глинистой суспензии (шликера). Реологические свойства и агрегационная устойчивость определяют технологические свойства шликеров и физико-механические показатели полученных из них изделий.

Переход системы от свободно-дисперсной к структурированной происходит при определенном соотношении в суспензии дисперсной фазы и дисперсионной среды [1-3], что в конечном итоге отражается на качестве отлитой из шликера заготовки и дисперсных параметрах получаемого пресс-порошка.

Технологические операции подготовки полуфабриката основаны на создании и сохранении в системе аккумулирующих структур, энергия которых будет использована на последующей стадии спекания материала. Формирование структуры керамического материала при спекании начинается от структуры полуфабриката [1].

Поведение глинистых минералов в водных суспензиях можно регулировать различными модифицирующими добавками, такими как: жидкое стекло, известь, сода и др. Влияние этих добавок отражается на ионообменных процессах, протекающих на поверхности частиц шликера и приводящих к изменению их состава и режимов технологических процессов. Вместе с этим добавки влияют на процесс спекания керамического материала, что часто является нежелательным явлением и требует дополнительной технологической обработки массы. Введение компонентов, влияющее на адсорбционное и ионообменное взаимодействие между твердым телом и раствором, может быть эффективно использовано для повышения свойств керамики. В этой связи актуальным становится использование нанотехнологий и наномодификаторов керамических масс. Поскольку синтез керамических материалов – весьма энергоемкий процесс, а твердофазные реакции образования основных кристаллических фаз керамических материалов из оксидов могут протекать при комнатной температуре, то в случае их инициирования при низкой температуре процесс будет сопровождаться большим выделением теплоты, что приводит к дальнейшему развитию этих реакций [1]. Учитывая высокую активность дисперсных частиц нано уровня, использование их в качестве модификаторов керамических масс представляется особенно перспективным.

В работе было исследовано влияние нанодисперсных частиц гидрозолей оксидов кремния и алюминия, а также высокодисперсных зольных отходов ТЭС-2 г. Казани на структурообразование Новониколаевской глины Татарстана.

Новониколаевская глина является типичным представителем запесоченных глин – суглинков Татарстана и средней полосы России. Химический состав Новониколаевской глины представлен в таблице 1, а гранулометрический состав имеет фракции: < 0,005 мм – 20-30 %, 0,005-0,05 мм – 60-70 %, 0,05-1 мм – 10-20 %. Глина среднечувствительная к сушке, неспекающаяся, число пластичности 8-12, огнеупорность 1350 °С.

Зола представляет собой порошок серого цвета, гранулометрический состав которой представлен в таблице 2. Минеральный состав золы состоит из 70 % стеклофазы и 15 % аморфизированного глинистого вещества, кварца, карбоната Ca, Mg, гематита, муллита [4].

Новониколаевская глина была использована в естественном (25 °С) и термоактивированном (нагрев 380 °С, выдержка 2 часа и резкое охлаждение в морозильной камере) состояниях. Глина была размолота и просеяна через сито с диаметром отверстий 1 мм.

В качестве высокодисперсной добавки использовали золу ТЭС-2 (г. Казань) состава, представленного в таблице 1.

Таблица 1

Сырье	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O+K_2O	ппп
Новониколаевская глина	73-74	10-11	0,54	4,17	2,49	1,59	0,06	1,89	3,87
Зола ТЭС-2 (Казань)	48-52	19-24	0,6-0,7	4-6	3-6	2-4	0,2-0,7	1,3-2,3	8-19

Таблица 2

Фракция, мм	1	0,5	0,315	0,2	0,1	0,063	0,05	< 0,05
Содержание, %	1,7	2,5	3,4	6,7	28,7	12.8	23,9	13,3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В качестве нанодисперсных частиц были использованы кремнезоль (КЗ) с диаметром частиц 8 нм и pH 9,9, гидроалюмозоль (АЗ-1) со структурой кристаллита типа бемита размером 3,5-4 нм и pH 4. Нанозоли были синтезированы в ОАО «КазхимНИИ».

Золи оксида кремния представляют собой лиофильные коллоидные системы с наноразмерными частицами, как правило, сферической формы. Поверхность ядра коллоидной частицы, состоящего из диоксида кремния (SiO_2), покрыта силанольными группами SiOH, диссоциация которых обусловливает возникновение двойного электрического слоя и отрицательного заряда частиц золя. Наноразмерные гидрозоли оксида алюминия имеют ромбическую кристаллическую структуру бемита (г-AlOOH), образованную семью слоями г-оксогидроксида алюминия. Высушенные на воздухе при температуре 25 °С золи бемита − ксерогели − могут быть вновь диспергированы при добавлении воды. Исследования структуры ксерогелей оксида алюминия и диспергированных в дистиллированной воде ксерогелей, проведенные методами порошковой дифрактометриии и малоуглового рентгеновского рассеяния, показали, что частицы ксерогеля оксида алюминия имеют пластинчатую форму с толщиной 3,1-3,4 нм. Согласно теоретическим расчетам кристаллы бемита образованы семью слоями г-оксогидроксида алюминия. Исследования выполнены в Отделении рентгеноструктурных исследований Центра коллективного пользования ЦКП САЦ на базе Лаборатории дифракционных методов исследования ИОФХ им. А.Е. Арбузова (г. Казань).

Из литературы известно [3, 6], что различие в структуре основных глинистых минералов (каолинита и монтмориллонита) связано с плотностью кристаллической решётки и расстоянием между закономерно повторяющимися группами ионов (плоскостями), которое для каолинита равно 0,72 нм, а у монтмориллонита в среднем 1,5 (0,95-1,9 нм). Наибольшие различия в активности двух минералов относят за счет координации иона алюминия в структуре: у каолинита – в шестой координации, а у монтмориллонита – в шестой и четвертой координации, которая термодинамически нестабильна и химически активна у монтмориллонита в естественном состоянии, а у каолинита после обезвоживания (термоактивации). Удаление основного количества воды из трехслойных минералов монтмориллонита вызывает меньшую, чем у двухслойных минералов каолиновой группы, аморфизацию в связи с малым количеством структурных гидроксидов [5]. Таким образом, глинообразующие минералы находятся в метастабильном кристаллическом состоянии, при котором кристаллическая решётка может меняться под действием различных факторов. Глины с высоким содержанием рентгеноаморфного вещества являются естественными наносистемами, а введение высокодисперсных частиц, например ВКВС, изменяет реологический тип системы и её седиментационную устойчивость [6].

Учитывая вышеприведенные данные, было важно проверить действие наноразмерных гидрозолей оксидов Al и Si, термоактивации глины на процесс седиментации частиц Новониколаевской глины и золы в водной среде, а также на последующие этапы структурообразования модифицированного материала в процессе обжига. Эти воздействия на сырьевую композицию должны отразиться на всех этапах технологии получения материала и его конечные свойства.

В литературе описаны варианты улучшения свойств керамических материалов в результате модификации структуры, например, высококонцентрированной керамической вяжущей суспензией (ВКВС) [6] и при введении дисперсных добавок зол и шлаков ТЭС [7], соблюдение особенностей технологии при получении материала из пылеватых суглинков [9].

Из таблицы 1 видно, что в состав Новониколаевской глины и золы входит повышенное количество кварца. Поэтому для сравнения поведения глины и золы в водной суспензии одновременно анализировали диатомит и молотый кварц в идентичных условиях.

На основе перечисленных выше веществ готовили 10 % водные суспензии в качестве базовых составов и суспензии с добавками 0,1 % (сверх 100 %) нанозолей КЗ и АЗ-1. Через 24 часа выстаивания суспензии в 100 мл стеклянных цилиндрах фиксировалось наличие золя и осадка.

После суточной выдержки суспензий на силикатные стекла были взяты пробы золей и осадков в изучаемых суспензиях. Изображение проб получено на оптическом поляризационном микроскопе Axioskop 40, увеличение в 500 раз (рис. 1).

Продукты седиментации в воде молотого кварца, диатомита с КЗ представлены на рис. 1. Через сутки выстаивания только в суспензии молотого кварца с КЗ наблюдалось образование стойкого золя, частицы которого, активированные при размоле и модифицированные КЗ, формируют структуру высокой дисперсности, дающую усадку на стекле и семейство вытянутых кристаллов размером 2-4 мкм в осадке (рис. 1). Диатомит показывает размытую структуру золя и осадка.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Результаты исследований показали, что Новониколаевская глина в естественном состоянии (25 °С) без добавок и с добавками нанозолей не показала образования стойкого золя. В термоактивированном состоянии Новониколаевская глина с КЗ показала золь, по структуре напоминающий диатомит с КЗ, а зола с АЗ-1 образует золь над осадком и имеет более крупные образования, напоминающие осадок диатомита с КЗ (рис. 1). Другими словами, глина в термоактивированном состоянии и зола, модифицированные нанозолями, имеют структуру, близкую модифицированному нано золями диатомиту, а не кварцу.

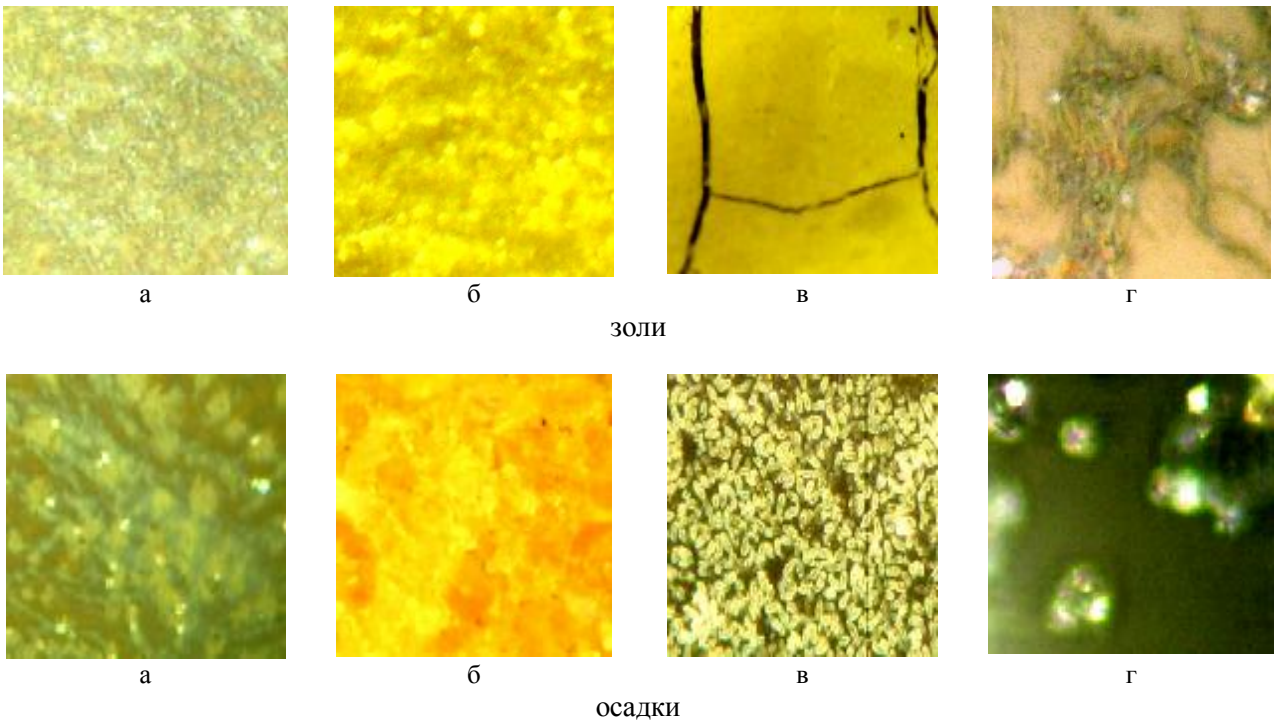


Рис. 1. Микроструктуры дисперсных фаз (золей и осадков) 10 % водных суспензий диатомита (а), Новониколаевской глины (б), молотого кварца (в) с добавкой 0,1 % кремнезоля (КЗ), (г) золы ТЭС-2 с добавкой 0,1 % АЗ-1. х 500. Свет отраженный

Зола ТЭС-2 без добавок и с добавкой КЗ дает неустойчивый золь, представляющий собой мелкодисперсную взвесь кристаллов размером 2-4 мкм.

Ранее было показано [7], что для состава массы на основе Новониколаевской глины наибольшая прочность образцов достигалась при прессовании порошка шихты, состоящей из 80 % глины и 20 % золы при влажности массы 19-20 %, давлении прессования 25 МПа, температуре обжига 1000 °С. Причем, только при 1000 °С наблюдалось увеличение прочности. В случае 950 °С и 1050 °С прочность снижалась. По этой технологии были получены образцы с различной комбинацией модифицирующих добавок.

Одновременно с образцами из порошков были отформованы образцы из 50 % шликеров, полученных на основе масс состава 80 % глины, 20 % золы и модифицированных различными комбинациями нанозолей.

Образцы, полученные прессованием порошков и шликерным литьем, после сушки до влажности 6-8 % обжигались при температуре 1000 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин.

Результаты испытаний образцов представлены на рис. 2.

Из графика рис. 2 видно, что уровень прочности и плотности образцов выше у всех масс, полученных по полусухой технологии. Это согласуется с высказанными ранее предположениями [9], что при прессовании порошков материал обладает наиболее совершенной кристаллизационной структурой. При этом графическая зависимость изменения прочности на сжатие и плотности образцов идентична для обеих технологий формования керамического материала.

Наилучшие показатели по прочности при меньшей плотности достигаются для обеих технологий при введении в массу последовательно КЗ, затем АЗ-1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

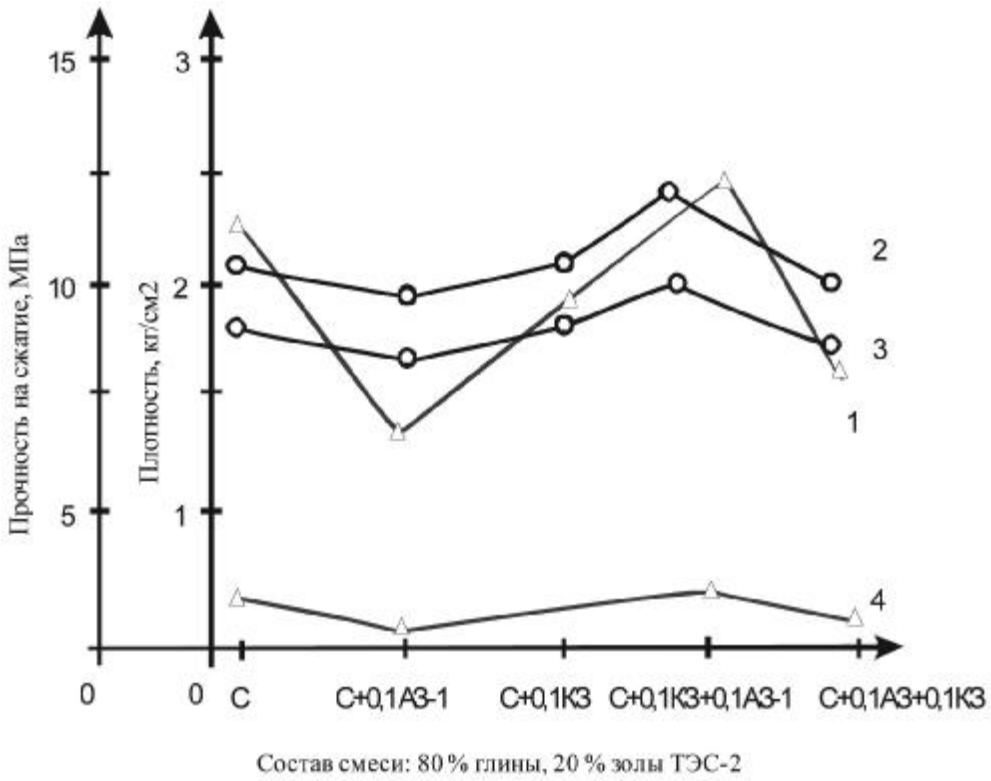


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие и плотности образцов от последовательной добавки нанозолей КЗ и АЗ-1, полученных из смесей 80 % Новониколаевской глины и 20 % золы ТЭС-2 по технологиям: 1, 4 – полусухое прессование, шликерное литье, где Δ – прочность (МПа); ○ – плотность (кг/см^2)

Учитывая то, что глина и зола имеют в составе 50-70 % высокодисперсного кварца, то можно предположить формирование между зерновой связки, идентичной по структуре слоистым глинистым минералам. Причем, слоистые структуры глинистых минералов, прежде всего каолинита и монтмориллонита, слагаются из параллельных слоев кремнекислородных тетраэдров и катион-кислородных октаэдров. Расстояние между слоями для образующих глину минералов лежит в наноразмерном уровне [5]. Увеличение прочности для таких составов по механизму может быть идентично высококонцентрированным вяжущим суспензиям ВКВС [6].

Технологические свойства глин и формируемого из них сырца определяются взаимопревращениями коагуляционных структур, а свойства керамики – образующимися при обжиге кристаллизационными образованиями [7]. При переходе от пластического (шликерного) формования к полусухому предполагается различие в механизме формирования оптимальной коагуляционно-кристаллизационной структуры сырца, которая закрепляется при обжиге. При этом формирование связок, идентичных слоистой структуре природных глинистых минералов, особенно для низкосортных глин, должно оказывать влияние на конечную структуру спеченного при обжиге материала.

Повышение прочности при сжатии для образцов, полученных по полусухой технологии, объяснялось формированием при прессовании наиболее совершенной кристаллизационной структуры [7]. Кроме того, при быстром спекании, реализуемом в нашем случае, увеличивающаяся степень неравновесности процесса в этих условиях приводит к получению керамического черепка мелкокристаллической структуры, что проявляется в высокой прочности керамического материала [7]. Причем, зологлиняные дисперсные системы [7], к которым принадлежит исследуемое сырье, при повышении скорости нагревания сохраняют низкий коэффициент термического линейного расширения в области упруго-хрупкого состояния в диапазоне температур 500-900 °С, благодаря чему при скоростном обжиге не возникает разрушающих напряжений.

Введение в суглинок мелкодисперсной золы ТЭС и увеличение влажности формовочной смеси повышают пластические свойства массы, способствуют равномерному уплотнению сырца при прессовании. Это, в конечном итоге, приводит к повышению прочности материала.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Выводы

Проведенные исследования показали хорошие перспективы использования Новониколаевской глины и золы ТЭС, а также нанозолей для получения керамического материала хорошего качества. Современные технологии производства строительной керамики могут обеспечить высокое качество изделий из отходов и местного низкосортного сырья. Кроме того, показали, что нанозоли оксидов алюминия и кремния могут служить эффективными модификаторами структурообразования водных суспензий глиняных масс для получения необходимых характеристик керамических материалов. Использование наноразмерных гидрозолей оксидов кремния и алюминия в качестве модификаторов глин с повышенным содержанием кварца может приводить к улучшению прочностных характеристик обожженных изделий. Кроме этого, использование нанозолей, в отличие от принятых в шликерной технологии электролитов (жидком стекле, соде и др.), не вносит в массу в значительном количестве ионы щелочных металлов, которые существенно влияют на процессы спекания керамических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердов Г.И., Зырянова В.Н., Хританков В.Ф. Нанопроцессы в технологии строительных материалов // Строительные материалы, 2008, № 7. – С. 76-80.
2. Бакунов В.С., Беляков А.В. Технология керамики с позиции синергетики // Стекло и керамика, 2005, № 3. – С. 10-13.
3. Климош Ю.А., Левицкий И.А. Реологические свойства шликеров на основе полиминеральных глин с добавками электролитов // Стекло и керамика, 2004, № 11. – С. 19-22.
4. Слюсарь А.А., Слюсарь О.А., Здоренко Н.М. Реологические свойства и критическая концентрация структурообразования суспензии каолина с комплексными добавками // Стекло и керамика, 2008, № 8. – С. 35-36.
5. Мчелов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1971. – 224 с.
6. Шаповалов Н.А., Строкова В.В. Оптимизация структуры наносистем на примере высококонцентрированной керамической вяжущей системы // Строительные материалы, 2006, № 8. – С. 248-249.
7. Железный П.Н., Женжурист И.А., Хозин В.Г. Керамические строительные материалы на основе местного сырья и отходов теплоэнергетики Татарстана // Строительные материалы, 2004, № 8. – С. 77-78.
8. Уайэтт О., Дью-Хьюз Д. Металлы, керамика, полимеры. – М.: Автоматиздат, 1979. – 578 с.
9. Женжурист И.А. Об особенностях формирования керамического черепка из пресс-порошков пылеватого суглинка // Строительные материалы, 2000, № 6. – С. 26-28.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.33
В.С. Изотов – доктор технических наук, профессор
E-mail: V_S_izotov@mail.ru
Р.А. Ибрагимов – аспирант
E-mail: rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

АННОТАЦИЯ
В работе проведен анализ влияния отечественных гиперпластификаторов на плотность, прочность и водонепроницаемость бетона, а также на водопотребность и сроки схватывания цементного теста. Выявлено, что бетон, модифицированный исследуемыми добавками, обладает высокими физико-механическими показателями. Найдены оптимальные дозировки рассматриваемых добавок, которые и использовались в настоящей работе.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гиперпластификатор, бетонная смесь, добавки, тяжелый бетон.

V.S. Izotov – doctor of technical sciences, professor
R.A. Ibragimov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering

INFLUENCE OF DOMESTIC HYPERSOFTENERS ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

ABSTRACT
In work the analysis of influence of domestic hyper softeners on density, durability and water resistance of concrete and also on water-need and terms of grip the cement test is lead. It is revealed, that the concrete modified by researched additives, possesses high physic mechanical parameters. Optimum dosages of considered additives which were used in the present work are found.
KEYWORDS: hyper softener, concrete mix, additives, heavy concrete.

Одним из перспективных направлений улучшения качества, в том числе повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций и снижения их стоимости, является использование в технологии бетона химических добавок. Использование добавок является весьма эффективным и экономичным способом улучшения технологических и физико-механических свойств бетона [1].

Из добавок к бетонам, нашедших наиболее широкое применение в производстве бетона и железобетона, на первом месте стоят пластифицирующие добавки.

В последнее время стали применяться у нас, и в особенности за рубежом, высокоэффективные пластифицирующие добавки на основе эфиров поликарбоксилата, которые получили название гиперпластификаторов. Они отличаются от известных суперпластификаторов, например С-3, более высоким водоредуцирующим эффектом, приводящим к существенному повышению плотности и прочности бетона [2].

К отечественным новым гиперпластификаторам, появившимся на рынке добавок для бетонов, относят: «Мобет марки 2», «Антигидрон марки 5», «Одолит-К», «Одолит-Т».

Мобет марки 2 – модификатор бетона и строительных растворов, предназначенный для получения высококачественных, высокопрочных, самоуплотняющихся, морозостойких бетонов и самовыравнивающихся строительных растворов. Представляет собой жидкость от бесцветного до темно-коричневого цвета. Соответствует требованиям ГОСТ 24211-2003, не содержит компонентов, способствующих коррозии арматуры. Рекомендуемый расход добавки 0.5-1.5 % от массы цемента.

«Антигидрон» марки 5 «Жидкий гиперконцентрат» – жидкая добавка для бетона и цементно-песчаных смесей уплотняющего и пластифицирующее-водоредуцирующего действия, дополнительно содержащая высококачественный импортный гиперпластификатор. Полностью растворима в воде. Отсутствие хлора позволяет использовать добавку для армированных бетонов. Рекомендуемый расход добавки 1-1.5 % от массы цемента.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Гиперпластификаторы «Одолит-К» и «Одолит-Т представляют собой высокоэффективный концентрат пластификатора 1-ой группы с ускоряющим и самоуплотняющим действием на основе специальных карбоксилатов, без содержания солей. Рекомендуемая дозировка добавки «Одолит-К» 1 %, «Одолит-Т» – 1-2 % по жидкому веществу от массы цемента.

Для исследования влияния добавок на свойства цементного теста и физико-механические показатели тяжелого бетона использован портландцемент ПЦ400-Д20 Вольского завода, состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1

Процентное содержание главных окислов				Содержание основных минералов				Содержание добавок, %	
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Опока	SO_3
22.55	4.75	4.7	65.04	57	21	4.6	14	8	2.2

Результаты исследований влияния добавок на нормальную густоту цементного теста и сроки схватывания по ГОСТ 310.3-76 [3] приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Содержание добавок, %				Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, мин.	
	Мобет-2	Антигидрон-5	Одолит-К	Одолит-Т		начало	конец
1	2	3	4	5	7	8	9
1	-	-	-	-	0.26*/100 %	155	295
2	0.6	-	-	-	0.2175/83.6 %	231	366
3	0.8	-	-	-	0.21/80.8 %	248	392
4	1	-	-	-	0.2/77 %	256	403
5	1.2	-	-	-	0.1925/74 %	269	415
6	1.4	-	-	-	0.1875/72 %	291	433
7	-	0.6	-	-	0.235/90 %	210	325
8	-	0.8	-	-	0.2275/87.5 %	228	342
9	-	1	-	-	0.2225/85.6 %	244	368
10	-	1.2	-	-	0.22/84.6 %	258	390
11	-	1.4	-	-	0.2175/83.6 %	276	405
12	-	-	0.6	-	0.2175/83.6 %	229	361
13	-	-	0.8	-	0.21/80.8 %	245	395
14	-	-	1	-	0.2/77 %	259	409
15	-	-	1.2	-	0.1925/74 %	266	417
16	-	-	1.4	-	0.1875/72 %	290	435
17	-	-	-	0.6	0.235/90 %	208	322
18	-	-	-	0.8	0.2275/87.5 %	225	340
19	-	-	-	1	0.2225/85.6 %	248	371
20	-	-	-	1.2	0.22/84.6 %	262	395
21	-	-	-	1.3	0.2185/84 %	281	413

*Примечание: над чертой – среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из данных табл. 2 видно, что наибольшим водоредуцирующим действием обладают добавки «Мобет-2» и «Одолит-К» при дозировке 1.4 % от массы цемента. Наименьшим водоредуцирующим свойством обладает добавка «Одолит-Т» при дозировке 1.3 % от массы цемента.

Все добавки замедляют процесс начала и конца схватывания цементного теста, при этом наибольшим влиянием на начало схватывания обладает добавка «Мобет-2» при дозировке 1.4 %, а на конец схватывания – добавка «Одолит-К» при дозировке 1.4 % от массы цемента.

Изучено влияние добавок на физико-механические свойства тяжелого бетона нормального твердения в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток. Для эксперимента принят производственный состав бетонной смеси марки М350 с осадкой конуса 8-9см (Ц=450 кг/мі, П=595 кг/мі, Щ=1140 кг/мі). Заполнителями служили обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности 2.7, щебень из гравия Камского месторождения фракции 5-20 мм. Вода добавлялась в бетонную смесь до достижения равной подвижности по ГОСТ 7473-94 [4].

Содержание добавок в бетонных смесях составило: «Мобет-2» – 1,2 %, «С-3» – 0.8 %, «Одолит-К» – 1 %, «Одолит-Т» – 1.3 %, «Антигидрон-5» – 1.2 % от массы цемента. Добавки вводились в растворную смесь с водой затворения.

Водоцементное отношение состава без добавки составило 0.46, с добавкой «Мобет-2», «Одолит-К» – 0.33, с добавкой «С-3» – 0.39, а с добавкой «Одолит-Т» и «Антигидрон-5» – 0.35.

Контрольные образцы – кубы с размерами 10х10х10 см – сразу после изготовления помещались в камеру нормального хранения и испытывались через 1, 3, 7, 28 суток. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Содержание добавок, %					Средняя плотность бетонной смеси, кг/м^3	Прочность при сжатии (МПа) бетона в возрасте, сут.			
	Мобет-2	Антигидрон-5	Одолит-К	Одолит-Т	С-3		1	3	7	28
1	-	-	-	-	-	2370	7.52* 100 %	18.05* 100 %	29.38* 100 %	36.8* 100 %
2	1.2	-	-	-	-	2475	12.41 165 %	28.16 156 %	44.36 151 %	54.8 149 %
3	-	1.2	-	-	-	2460	10.68 142 %	25.09 139 %	40.25 137 %	47.84 130 %
4	-	-	1	-	-	2475	12.56 167 %	27.8 154 %	44.07 150 %	54.8 149 %
5	-	-	-	1.3	-	2475	10.83 144 %	25.27 140 %	40.25 137 %	48.57 132 %
6	-	-	-	-	0.8	2460	9.78 130 %	23.15 128 %	37.4 127 %	46.4 126 %

*Примечание: над чертой – среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что все изучаемые добавки повышают прочность бетона во все сроки твердения. Наибольший прирост прочности через сутки нормального твердения обеспечивается при введении добавки «Одолит-К» (на 67 %), а через трое суток – при введении добавки «Мобет-2» (на 56 %). В указанные сроки при введении добавки С-3 прочность бетона повышается на 30-28 %, а с добавками «Антигидрон-5», «Одолит-Т» – на 42-39 % и 44-40 % соответственно.

В возрасте 28 суток нормального твердения прочность при сжатии с добавками повышается с 36.8 до 54.8 МПа, т.е. на 49 %. При этом наибольшее повышение прочности достигается при введении добавок «Мобет-2» и «Одолит-К» (на 49 %). При введении добавки С-3 прочность повышается на 26 %, а с добавками «Антигидрон-5», «Одилит-Т» – на 30 % и 32 % соответственно.

Для определения пластифицирующего эффекта добавок «Мобет-2» и «Одолит-К», обладающих наибольшим водоредуцирующим свойством, были проведены испытания бетона на сжатие в возрасте 1, 3, 7, 28 суток нормального твердения. Водоцементное отношение бетона без добавок и с добавками составило 0.37. Осадка конуса бетонной смеси без добавки составила 2 см, что соответствует подвижности П1, а с добавками – 27 см, что соответствует подвижности П5. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 4

№ п/п	Содержание добавок, %		Ср. плотность бет. смеси, кг/м3	Прочность при сжатии (МПа) бетона в возрасте, сут.			
	Мобет-2	Одолит-К		1	3	7	28
1	-	-	2415	7.89* 100 %	22.4* 100 %	32.7* 100 %	40.3* 100 %
2	1.2	-	2435	8.2 104 %	23.52 105 %	34.66 106 %	42.31 105 %
3	-	1	2435	8.28 105 %	23.97 107 %	34.66 106 %	42.72 106 %

*Примечание: над чертой – среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

Из табл. 4 видно, что при одинаковом водоцементном отношении не наблюдается снижение прочности бетона во все сроки испытания и повышается подвижность бетонной смеси с П1 до П5, следовательно, добавки «Мобет-2» и «Одолит-К» в соответствии с [5] относятся к суперпластификаторам.

Водонепроницаемость бетонных образцов-цилиндров 15х15 см определяли по ГОСТ 12730.5-84 [6], морозостойкость определяли по ГОСТ 10060.3-95 [7]. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 5

№ п/п	Содержание добавок, %			Марка бетона по водонепроницаемости	Марка бетона по морозостойкости
	Мобет-2	Антигидрон-5	Одолит-К		
1	-	-	-	W6	F200
2	1.2	-	-	W12	F500
3	-	1.2	-	W16	F400
4	-	-	1	W16	F500

У образцов цилиндров, модифицированных добавками «Антигидрон-5» и «Одолит-К», после выдерживания под давлением 16 Атм в течение 16 часов мокрое пятно на торцевой поверхности не появилось. В связи с этим марку по водонепроницаемости указанных образцов определяли по экспресс-контролю воздухопроницаемости бетона в соответствии с [6] на приборе Агама-2РМ. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Содержание добавок, %		Марка бетона по водонепроницаемости	Сопротивление бетона прониканию воздуха, с/см^3
	Антигидрон-5	Одолит-К		
1	1.2	-	20	140
2	-	1	16	57.1

Выводы:

1. Введение в бетонную смесь изучаемых добавок позволяет обеспечить существенное повышение плотности, прочности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

2. Все изучаемые добавки обладают высокой водоредуцирующей способностью. Так, добавки «Мобет-2» и «Одолит-К» снижают водоцементное отношение до 29 %, добавки «Антигидрон-5» и «Одолит-Т» – до 24 %, в то время как суперпластификатор С-3 только до 16 %.

3. Бетон, модифицированный добавками «Мобет-2» и «Одолит-К», через 28 суток нормального твердения имеет прочность на сжатие в 1.5 раза выше (54.8 МПа), чем бетон без добавки (36.8 МПа).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4. Водонепроницаемость бетона с новыми добавками возрастает от 3 до 7 ступеней. При этом водонепроницаемость бетона с добавкой «Мобет-2» возрастает на 3 ступени, с добавкой «Одолит-К» – на 5 ступеней, с добавкой «Антигидрон-5» – на 7 ступеней.

5. Морозостойкость модифицированного бетона повышается в 2-2.5 раза (с F200 до F400, F500).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: АСВ, 2000. – 500 с.
2. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Изд-во «Палеотип», 2006. – 243 с.
3. ГОСТ 310.3-76 (2003). Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
4. ГОСТ 7473-94. Смеси бетонные. Технические условия.
5. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов. Общие технические требования.
6. ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
7. ГОСТ 10060.3-95. Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.33
В.С. Изотов – доктор технических наук, профессор
E-mail: V_S_izotov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
О.В. Селиверстова – специалист по технологической поддержке
E-mail: TDS_TP@mail.ru
Т.А. Краснова – начальник испытательной лаборатории
E-mail: shelma4@mail.ru
ООО «Торговый дом Суперпласт»

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАТОВ НА ПРОЧНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ И ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ БЕТОНА

АННОТАЦИЯ
Изучено влияние нового суперпластификатора на основе олигомерных эфиров акриловой кислоты на реологические свойства бетонной смеси, прочность, плотность и водонепроницаемость тяжелого бетона.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: добавки, суперпластификаторы, бетонная смесь, бетон.

V.S. Izotov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
O.V. Seliverstova – the expert on technological support
T.A. Krasnova – chief of test laboratory
Limited Liability Company «The Trading House the SUPERLAYER »

INFLUENCE OF THE NEW ADDITIVE ON THE BASIS OF OLYGOMERS ETHERS ACRYLES OF ACID ON DENSITY AND WATER RESISTANCE OF CONCRETE MODERN BUILDING MATERIAL ABSTRACT

ABSTRACT
Influence of new supersoftener on a basis olygemer aethers akril acid on reology properties of a concrete mix, durability, density and water resistance of heavy concrete is studied.
KEYWORDS: hypersoftener, concrete mix, additives, heavy concrete.

В настоящее время строительная отрасль динамично развивается. Монолитное строительство приобретает все больший масштаб. Появляются новые виды железобетонных конструкций и изделий, оптимизируется и модифицируется технология их производства. Одновременно повышаются и технические требования к бетону.

Поэтому стойкость бетонных и железобетонных конструкций и изделий к воздействию окружающей среды и их долговечность выходят на первый план.

В естественных условиях здания и сооружения подвергаются воздействию перепадов температуры, кислотных осадков, перепадов влажности окружающей среды, что может негативно сказаться на их долговечности [1].

Долговечность бетонных и железобетонных конструкций выражается в их способности сохранять требуемые эксплуатационные качества в течение длительного срока службы в условиях внешних воздействий. Поэтому, помимо прочностных характеристик, важную роль играют показатели по водонепроницаемости и морозостойкости. Эти два параметра неразрывно связаны друг с другом, зависят они от величины пористости, от размера пор, в первую очередь – капиллярных [4].

Для повышения стойкости железобетона используют бетоны повышенной плотности, специальные цементы, изоляцию поверхности в виде специальных гидрофобизирующих покрытий или окрасок и т.д.

Но все же наиболее массовым, наименее трудоемким и эффективным способом повышения срока эксплуатации бетонных изделий и железобетонных конструкций является введение в бетонную

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

смесь комплексных добавок, обеспечивающих необходимую для технологии бетонирования реологию бетонной смеси и одновременно повышение плотности бетона.

В настоящее время в качестве добавок-уплотнителей структуры бетонов применяют минеральные тонкодисперсные и тонкомолотые добавки, например кремнеземистые породы, микрокремнезем, метакаолин, доменные гранулированные шлаки, золы. Действие данных добавок сводится к улучшению структуры, повышению плотности цементного камня за счет кольматации капилляров сечением более 1 мкм, через которые мигрирует влага. Подобные добавки требуют специального дополнительного оборудования для хранения и дозирования, увеличения времени перемешивания, а в некоторых случаях и увеличения водоцементного отношения, что не только усложняет технологический процесс, но и может сказаться на свойствах железобетонной конструкции в перспективе.

Для повышения плотности бетона известно применение также водорастворимых добавок, таких как: полиаминная смола, ДЭГ-1, ТЭГ-1, сульфат алюминия, сульфат железа, хлорид железа, нитрат кальция [2].

Однако эффективность органических добавок этой группы не высока, а применение солей в качестве добавок ограничивается различными негативными эффектами, самыми яркими из которых является высолообразование и негативное влияние на сохранность стальной арматуры.

Все перечисленные добавки требуют дополнительного введения пластификаторов, обеспечивающих необходимую для бетонирования реологию бетонной смеси.

Нами разработана новая полифункциональная водорастворимая добавка на основе олигомерных эфиров акриловой кислоты, оказывающая влияние на реологию бетонной смеси на уровне супепластификатора С-3 и одновременно повышающая плотность бетона.

Добавка вводится с водой затворения и не требует дополнительных дозаторов (при наличие дозаторов для жидких добавок). Она позволяет обеспечить подвижность бетонной смеси класса П5 (22 см) при дозировке 0,7 % от массы цемента по сухому веществу при постоянном значении водоцементного отношения, обеспечить положительную кинетику набора прочности во все сроки нормального твердения и одновременно прирост прочности относительно контрольного образца в проектном возрасте на 10 % (табл. 1).

Таблица 1

Содержание добавки	*Расход материалов на 1 м^3				Осадка конуса, см	Плотность б/см, кг/м^3	Rсж, МПа, при нормальном твердении в возрасте:			Плотность бетона, кг/м^3
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, кг			1 сут.	7 сут.	28 сут.	
Эталон	350	788	1142	182	3	2340	80	291	350	2420
0,5 %	350	788	1142	182	17	2345	87	298	353	2433
0,7 %	350	788	1142	182	22	2393	86	307	385	2442
1 %	350	788	1142	182	24	2400	90	300	356	2432

*Примечание: Дозировки указаны в % от массы цемента по сухому веществу. Материалы: ОАО «Мордовцемент» ЦЕМ I 42,5 Н; песок Мкр = 2,3; щебень гранитный фр. 5-20 мм.

Таблица 2

Добавка	Расход материалов на 1 м^3 бетонной смеси				Осадка конуса, см	Плотность б/см, кг/м^3	Плотность бетона при нормальном твердении			$R_{сж}$ 28 сут., МПа
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, кг			1 сут.	7 сут.	28 сут.	
-	350	788	1142	182	3	2340	2403	2421	2420	35,0
0,5 %	350	788	1142	182	17	2345	2424	2424	2433	35,3
0,7 %	350	788	1142	182	22	2393	2431	2441	2442	38,5
1 %	350	788	1142	182	24	2400	2421	2432	2432	35,6
С-3 0,5 %	350	788	1142	182	22	2380	2411	2411	2416	35,5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Изготавливались бетонные смеси: контрольный с подвижностью П1, с новой добавкой и для сравнения с суперпластификатором С-3 – с подвижностью П5 при неизменном относительно контрольного образца В/Ц (табл. 2).

Плотность бетона определяли в возрасте 1, 7 и 28 суток нормального твердения.

Как следует из данных табл. 2, данная добавка повышает плотность бетонной смеси и плотность бетона во все сроки твердения более значительно, чем добавка С-3.

Повышение плотности бетонной смеси с новой добавкой может свидетельствовать о пониженном воздухововлечении, что, по нашему мнению, служит одной из причин повышения непроницаемости бетона.

Испытания на водонепроницаемости бетона выполняли в проектном возрасте. Для этого были изготовлены образцы с разработанной добавкой (0,7 % от массы цемента по сухому веществу) и для сравнения с суперпластификатором С-3 (0,5 %).

Бетонная смесь в обоих случаях обладала подвижностью на уровне П5 (22 см). Испытания проводились согласно ГОСТ 12730. Составы бетона и результаты испытаний приведены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 3, образцы с новой добавкой обладали водонепроницаемостью W14, что на 3 ступени выше состава без добавок (W8) и на 2 ступени выше образцов с суперпластификатором С-3 (W10).

Одним из характерных особенностей многих известных суперпластификаторов является высокая определенная чувствительность к минералогическому составу цементов.

Таблица 3

Вид и содержание добавок	Расход материалов на 1 м^3 бетонной смеси				Плотность бетона, кг/м^3	Марка по водонепроницаемости, W
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, кг		
Без добавок	350	788	1142	182	2415	8
0,7 %	350	788	1142	182	2445	14
С-3 0,5 %	350	788	1142	182	2420	10

Поэтому нами выполнены исследования влияния разработанной добавки на изменение нормальной густоты и сроков схватывания цементов различного минералогического состава. В качестве объектов исследования выбраны портландцементы Старооскольского, Мальцовского, Воскресенского и Себряковского цементных заводов, нормальная густота сроки схватывания и минералогический состав которых представлены в табл. 4.

Таблица 4

№	Наименование завода изготовителя цемента	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч. мин		Минералогический состав, %			
			начало	конец	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1	Старооскольский	26,73	2.00	5.0	68,8	11,3	9,2	10,6
2	Мальцовский	25,88	2.00	6.00	58	21	7	14
3	Воскресенский	26,88	2.00	4.40	60	10	7	13
4	Себряковский	27,75	1.50	5.00	65	12	5,3	15

Добавка, введенная в цементное тесто с водой затворения в количестве 0,5; 0,7 и 1,0 % от массы цемента, снижает нормальную густоту всех исследуемых цементов тем интенсивнее, чем выше содержание добавки. Наиболее значительное снижение нормальной густоты цементного теста достигается при содержании добавки 1,0 %. При этом на цементе № 1 (табл. 4) нормальная густота снижается на 19 %, на цементе № 2 на 15 %, на цементе № 3 на 13,5 % и на цементе № 4 на 10 %. Результаты эксперимента показывают, что наибольшее снижение нормальной густоты цементного теста в присутствии данной добавки наблюдается при применении низкоалюминатного цемента, что характерно для многих пластифицирующих добавок и суперпластификаторов, например, С-3 [5].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Добавка оказывает влияние и на сроки схватывания теста нормальной густоты. Начало и конец схватывания на всех цементах увеличиваются на 10-40 мин. в зависимости от вида цемента и содержания добавки. Наибольшее замедление схватывания происходит при содержании добавки 1.0 % у цементов Мальцовского и Воскресенских заводов (на 40 мин.).

Наименьшее влияние на сроки схватывания цементного теста добавка оказывает в случае применения портландцемента Старооскольского цементного завода, отличающегося максимальным содержанием трехкальциевого силиката в цементном клинкере.

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют сделать вывод, что разработанная добавка в соответствии с требованиями ГОСТ 30459 [3] может быть отнесена и к пластификаторам I группы эффективности (пластификация с П1 до П5 без потери прочности во все сроки твердения), и к кольматирующим добавкам (повышение непроницаемости на 2 ступени и выше относительно контрольного образца).

Сочетание свойств суперпластификатора и кольматирующей добавки обеспечивает оптимальные показатели по реологии бетонной смеси в процессе работы с ней и долговечности полученных бетонных и железобетонных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 500 с.
2. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
3. ГОСТ 30459-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности.
4. Изотов В.С. Организация системы контроля качества и повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций. – Казань: Образцовая типография, 2008. – 300 с.
5. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. Монография. – М.: Палеотип, 2006. – С. 64-65.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 625.7/8
А.В. Исаев – аспирант
М.Г. Салихов – доктор технических наук, профессор
Марийский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ

АННОТАЦИЯ

В работе впервые изучено влияние на сцепление (адгезию) льда с поверхностью щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) количества и крупности противогололедных добавок, вводимых в его структуру. В качестве противогололедных добавок использованы мелкозернистые соли: хлористый натрий, хлористый кальций и их смеси в различных соотношениях. Адгезия льда к поверхности ЩМА исследовалась при различных температурах замораживания стандартных цилиндрических образцов. Изучено также влияние на физико-механические свойства ЩМА количества и крупности противоморозных добавок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: антигололедный асфальтобетон, хлористый натрий, хлористый кальций, адгезия, сцепление льда, кристаллическая соль.

A.V. Isaev – post-graduate student
M.G. Salikhov – doctor of technical sciences, professor
Mari State Technical University

RESEARCH AGAINST ICE AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES RUBBLE-MASTIC ASPHALTBETONS WITH AGAINST ICE ADDITIVES

ABSTRACT

In work influence on coupling (adhesion) of an ice with a surface rubble-mastic asphaltbeton (RMA) quantities and coarseness against ice the additives entered into its structure for the first time is studied. As against ice additives fine-grained salts are used: chloride sodium, chloride calcium and their mixes in various ratio. Adhesion of an ice to surface RMA was investigated at various temperatures of freezing of standard cylindrical samples. Influence on physicomechanical properties RMA quantity and coarseness against ice additives is studied also.

KEYWORDS: against ice asphaltbetons, chloride sodium, chloride calcium, adhesion, coupling of an ice, crystal salt.

В настоящее время существует множество способов борьбы с гололедообразованием и скользкостью на покрытиях автомобильных дорог: фрикционные, физические, химические и комбинированные [1-4]. Большинство из них сводится либо к периодическому удалению снежно-ледяных отложений, либо к периодическому распределению фрикционных материалов по покрытию. Они обладают существенными недостатками, такими как большой расход эксплуатационных материалов и энергии, требуют большого количества механизации и денежных средств, загрязняют окружающую среду и т.д. Кроме того, эффект каждого мероприятия относительно кратковременный и эти мероприятия требуют многократного повторения за расчетный зимний период. Во многих странах находит применение технология «смоченная соль», когда твердую соль перед распределением по покрытию обрабатывают раствором этой же или другой соли [2]. Эта технология позволяет сэкономить до 25…40 % противоморозной соли. Однако необходимость многократного распределения за сезон при данной технологии сохраняется. Предложены также способы обработки поверхности покрытий гидрофобными жидкостями (например, кремнийорганическими [5]), внесение противоморозных добавок в структуру асфальтобетона в виде тонкоизмельченного порошка («Грикол» [6]) или в виде частиц средней крупности (например, солей NaCl [4, 7, 8] и др.). Асфальтобетоны с внесением противоморозных добавок в их структуру принято называть

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

антигололедными. Покрытия антигололедных асфальтобетонов (ААБ) обладают пониженными значениями сцепления (адгезии) льда.

Чаще всего в качестве противоморозной добавки в асфальтобетон используют хлористый натрий из-за его относительной дешевизны и доступности. Однако он может обеспечить противогололедный эффект только в пределах температур от 0 °С до -7 °С [2]. Исходя из этого, в данной работе ставится цель – поиск путей расширения температурного интервала ниже -7 °С. Кроме того, требуется изучить процессы гололедообразования на покрытиях из современных материалов, в частности, щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) с добавками противоморозных солей NaCl, $CaCl_2$ и их смесей в различных соотношениях. В МарГТУ проводились работы по изучению влияния крупности зерен обработанной битумом противоморозной соли на ее растворимость [9].

Гранулометрические составы исследованных в данной работе ЩМА приведены в табл. 1, кривая гранулометрического состава минеральной их части показана на рис. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав минеральной части ЩМА

Наименование показателя	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,62	0,325	0,16	0,071
Полные проходы, %	96,92	69,97	41,94	21,9	18,5	17,68	15,34	13,26	10,10	8,79
Требования ГОСТ 31015-2002 [10], %	90-100	50-70	25-42	20-30	15-25	13-24	11-21	9-19	8-15	8-13

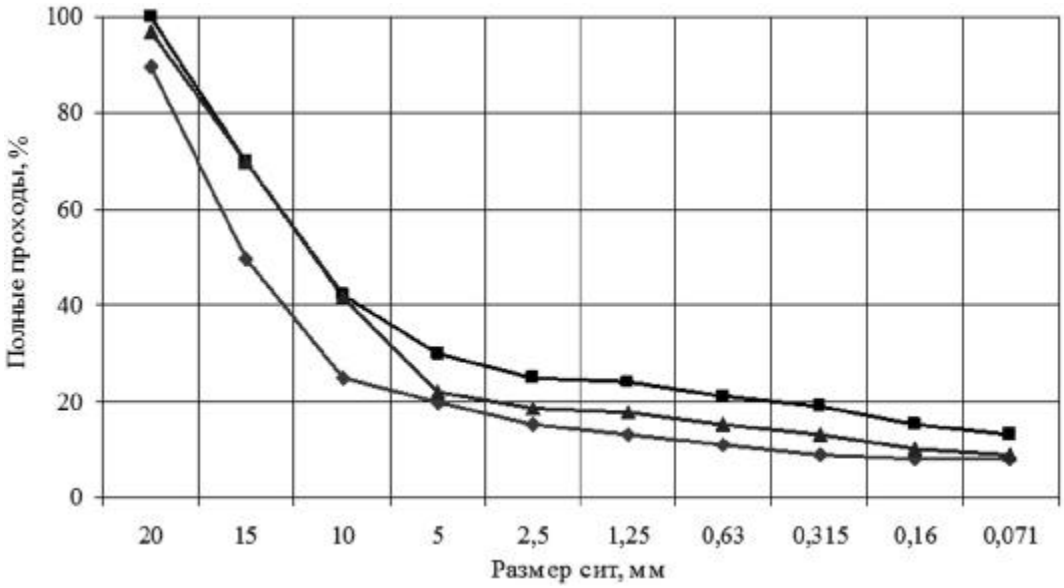


Рис. 1. Кривая подбора состава минеральной части щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси:

нижнее значение кривой зернового состава по ГОСТ 31015-2002 [10]
верхнее значение кривой зернового состава по ГОСТ 31015-2002 [10]
фактические проходы

Антиадгезионные свойства противогололедных асфальтобетонов проверялись по методике, разработанной в МарГТУ [4].

В данной работе в качестве противоморозных добавок рассматриваются хлористый натрий, хлористый кальций, смеси этих солей. Для установления оптимального количества добавок изучали физико-механические и антиадгезионные свойства ЩМА по отношению к снежно-ледяным отложениям. Противоморозная соль (NaCl) вводилась в состав асфальтобетона взамен соответствующей фракции дробленого песка в количестве 1, 3, 5, 7, 9 % от массы минеральной части.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Результаты опытов по изучению адгезии льда к поверхности ЩМА при различном содержании NaCl представлены на рис. 2. По минимальным значениям величины адгезии льда и сохранения требуемых показателей свойств ЩМА за оптимальное значение содержания чистой соли NaCl принимается в среднем 5 % по массе минеральной части. Такие же значения противогололедной добавки применительно к другим климатическим условиям были получены другими авторами [7, 8]. При совместном использовании двух солей (комбинированной противогололедной добавки (КПД)) суммарную их величину в ЩМА сохраняли в количестве 5 % от массы минеральной части. При этом изменение доли $CaCl_2$ от массы всей добавки составляет: 0; 12,5; 25; 50; 75; 100 %. Результаты опытов по изучению изменения значений адгезии льда к поверхности образцов ЩМА с КПД приведены на рис. 3.

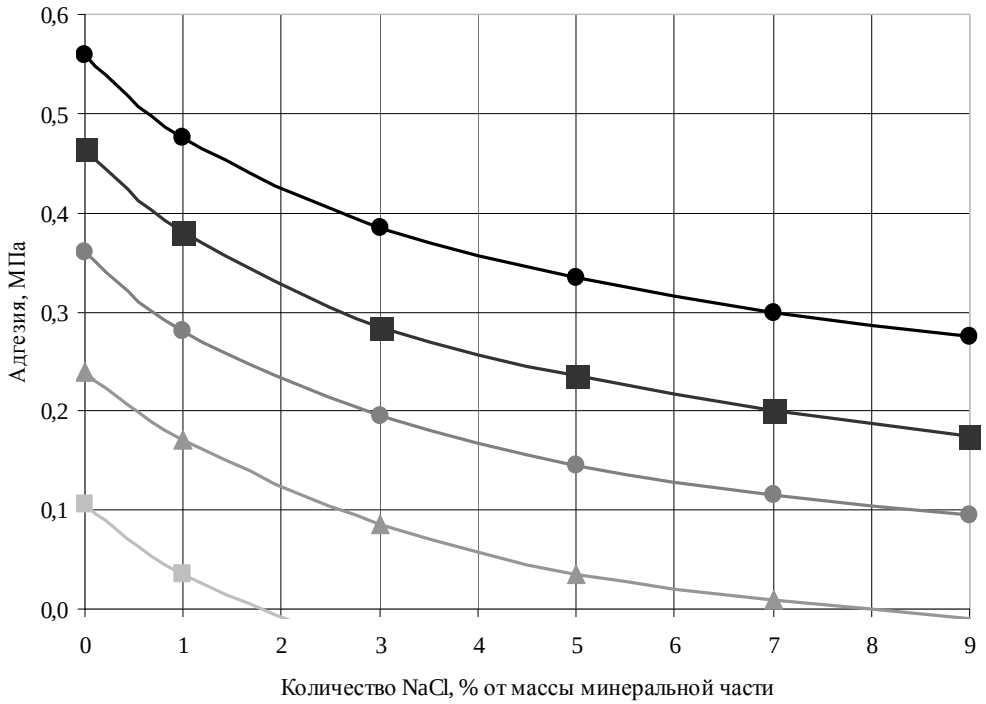


Рис. 2. График зависимости адгезии льда к поверхности ЩМА от количества NaCl:

t = 0 °C; t = -5 °C; t = -10 °C; t = -15 °C; t = -20 °C

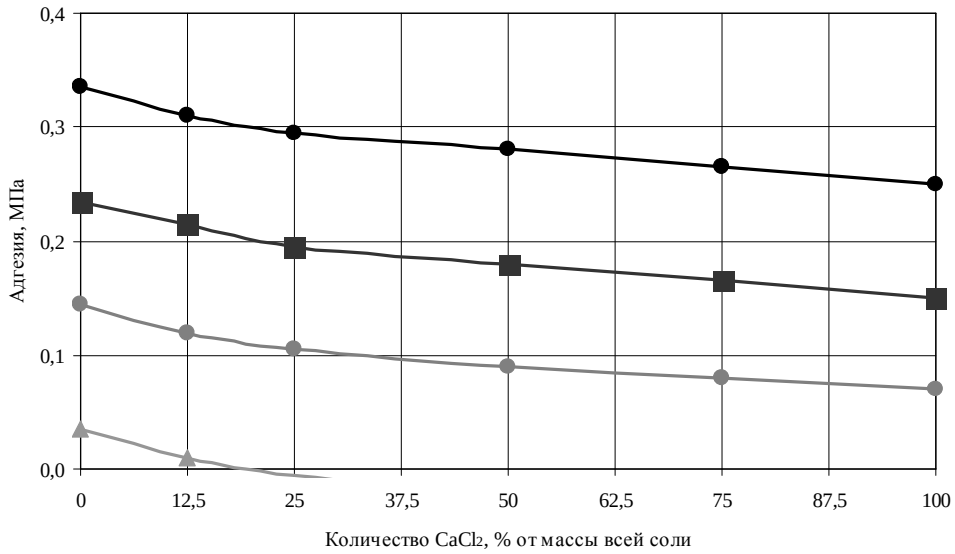


Рис. 3. Графики зависимости адгезии льда к поверхности ЩМА от доли $CaCl_2$ (в массе смеси солей NaCl и $CaCl_2$):

t = -5 °C; t = -10 °C; t = -15 °C; t = -20 °C

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из графиков на рис. 2 и 3 видно, что значения адгезии льда к поверхности асфальтобетона обратно пропорциональны количеству вводимых противогололедных добавок. При этом подтверждается предположение о том, что при использовании NaCl антиадгезионная способность ЩМА обеспечивается при температурах не ниже -5 °С в при количестве добавки в пределах 6…8 % от массы минеральной части. При замене части противогололедной добавки NaCl хлористым кальцием (в количестве 12,5 % от всей массы соли) значения адгезии льда при температурах -5, -10, -15, -20 °С снижаются соответственно в 3,5; 1,2; 1,1 и 1,1 раза. Во-первых, это говорит о том, что при внедрении метода антигололедного ЩМА оптимальным соотношением между применяемыми солями является 87,5:12,5 %; во-вторых, этот способ может быть эффективно использован в пределах температур на поверхности покрытия автомобильных дорог от 0 °С до -10 °С.

Результаты экспериментов показывают, что эффективность антиадгезионной способности (скорость уменьшения величины адгезии) при температурах 0 °С… -20 °С значительно выше при количестве добавок в пределах до 6 % от массы минеральной части ЩМА. При дальнейшем увеличении количества противоморозных добавок этот процесс замедляется.

С целью изучения влияния крупности противоморозных добавок на физико-механические свойства ЩМА проведены специальные опыты. При этом крупность соли NaCl составляла 0…0,63 мм («мелкая») и 0,63…2,5 мм («крупная»). Крупность соли $CaCl_2$ составляла 0…0,63 мм.

Противогололедные свойства ЩМА с добавками солей различной крупности NaCl, а также с $CaCl_2$ с повышенным содержанием битума при температуре -10 °С приведены в табл. 2.

Таблица 2

Противогололедные свойства антигололедных ЩМА

Количество соли, в % от массы мин. части	Соотношение солей NaCl ($CaCl_2$), в % от массы всей соли	Количество битума, в % от массы минеральной части	Адгезия, МПа
0	-	6	0,36
1	100 (0)	6	0,28
3	100 (0)	6	0,2
5	100 (0)	6	0,15
5 крупная	100 (0)	6	0,15
5 мелкая	100 (0)	6	0,15
7	100 (0)	6	0,12
9	100 (0)	6	0,10
5	87,5 (12,5)	6	0,12
5	75 (25)	6	0,11
5	50 (50)	6	0,09
5	25 (75)	6	0,08
5	0 (100)	6	0,07
5	0 (100)	8	0,11

В образцах с добавкой 5 % $CaCl_2$ увеличение содержания битума с 6 до 8 % приводит к повышению величины адгезии. Аналогичные результаты получены также Ковалевым Н.С. для случая применения NaCl [8].

Физико-механические свойства ЩМА с кристаллическими солями NaCl и $CaCl_2$ представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 2, значения показателей физико-механических свойств ЩМА при одинаковом количестве (5 % от массы минеральной части) практически не зависят от крупности противоморозных добавок и соответствуют ГОСТ 31015-2002 [10].

Увеличение содержания в ЩМА кристаллической соли NaCl приводит к некоторому росту значений остаточной пористости, пористости минеральной части и уменьшению водонасыщения. При содержании NaCl и до 5…7 % несколько улучшаются показатели сцепления битума и стекаемости. При увеличении содержания хлористого натрия свыше 7 % от массы минеральной части ухудшаются такие показатели, как значения предела прочности при сжатии и трещиностойкости ЩМА. Количество соли свыше 7 % приводит к уменьшению прочности при сжатии, трещиностойкости ЩМА. Однако асфальтобетоны с NaCl в количестве 1…9 % соответствуют по своим свойствам требованиям ГОСТ 31015-2002 [9].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3

Физико-механические свойства антигололедных ЩМА

Количество и хар-ка соли, % от массы мин. части	Вид соли, NaCl ($CaCl_2$), % от массы соли	V^M, %	V^O, %	W, %	$y_{СЖ}$, МПа		$K_В$	$K_{ВД}$	tgц	$C_Л$, МПа	$y_Р$, МПа	В, %
					20 °С	50 °С						
Требования ГОСТ 31015-2002 [9]		15-19	1,5-4,5	1-4	≥2,2	≥0,65	-	≥ 0,85	≥ 0,93	≥ 0,18	≥2,5≤6	≤0,2
0	-	16,7	2,5	2,7	4,7	1,1	0,99	0,88	0,94	0,21	3,8	0,14
1	100 (0)	16,6	2,3	2,3	5,0	1,2	0,99	0,90	0,93	0,22	3,9	0,15
3	100 (0)	16,6	2,4	2,1	5,1	1,2	0,95	0,87	0,95	0,22	4,1	0,12
5	100 (0)	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
5 крупная	100 (0)	16,9	2,7	2,1	4,9	1,2	0,96	0,87	0,94	0,22	4,0	0,11
5 мелкая	100 (0)	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
7	100 (0)	17,0	2,9	2,0	5,2	1,2	0,96	0,87	0,93	0,23	4,1	0,11
9	100 (0)	17,4	3,3	2,2	4,4	1,0	0,96	0,87	0,94	0,19	3,5	0,12
5	87,5 (12,5)	16,6	2,4	2,2	4,4	1,0	0,96	0,87	0,94	0,19	3,5	0,10
5	75 (25)	16,8	2,6	2,4	4,2	1,0	0,94	0,85	0,93	0,19	3,3	0,09
5	50 (50)	17,4	3,3	3,2	3,7	0,9	0,91	0,82	0,94	0,16	3,0	0,08
5	25 (75)	18,2	4,2	3,7	3,5	0,8	0,87	0,79	0,95	0,15	2,8	0,06
5	0 (100)	18,8	5,0	4,0	3,1	0,7	0,82	0,75	0,93	0,14	2,5	0,04

V^M – пористость минеральной части; V^O – остаточная пористость; W – водонасыщение; $y_{СЖ}$ – предел прочности при сжатии; $K_В$ – водостойкость; $K_{ВД}$ – водостойкость при длительном водонасыщении; tgц – коэффициент внутреннего трения; $C_Л$ – сцепление при сдвиге при температуре 50 °С; $y_Р$ – трещиностойкость; В – стекание вяжущего.

В ЩМА с противоморозными добавками в количестве 5 %, состоящими из смеси NaCl и $CaCl_2$, по мере увеличения доли хлористого кальция возрастают скорости изменения значений остаточной пористости, водонасыщения, предела прочности и трещиностойкости.

Использование в качестве противоморозной добавки кристаллической соли $CaCl_2$ в количестве 5 % от минеральной части приводит к наибольшему ухудшению свойств ЩМА. Например, значение прочности ЩМА при сдвиге при температуре +50 °С и другие показатели не соответствует ГОСТ 31015-2002 [10]. Ухудшение свойств ЩМА при введении сильно гигроскопической соли $CaCl_2$ можно объяснить быстрой растворимостью впитываемой ею водой и вымываемостью соли из структуры ЩМА, которая приводит к повышению остаточной пористости и повышенной водонасыщаемости. Следствием этого является снижение значений предела прочности при сжатии и трещиностойкости. Пропорциональное снижение значений стекаемости битума по мере увеличения содержания противоморозных солей, особенно соли $CaCl_2$, может быть объяснено насыщением дисперсного минерального порошка ионами Na^+ и Ca^{2+}. В результате этого увеличивается структурирующая способность поверхностей минеральных зерен, происходит увеличение толщины структурированных слоев вяжущего. При этом с целью получения удобообрабатываемой и пластичной смеси потребуется вводить большее количество битума, то есть может увеличиться битумоемкость ЩМА. Для проверки данного предположения проведен специальный опыт с образцами антигололедного ЩМА с 6 и 8 % битума. Результаты этого опыта приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства ЩМА с различным содержанием битума

Кол-во (вид соли), % от массы мин. части	Кол-во битума, % от массы мин. части	V^M, %	V^O, %	W, %	$y_{СЖ}$, МПа		$K_В$	$K_{ВД}$	tgц	$C_Л$, МПа	$y_Р$, МПа	В, %
					20 °С	50 °С						
Требования ГОСТ 31015-2002 [9]		15-19	1,5-4,5	1-4	≥2,2	≥0,65	-	≥0,85	≥0,93	≥0,18	≥2,5-≤6	≤0,2
5 (NaCl)	6	16,7	2,5	2,0	5,0	1,2	0,96	0,88	0,94	0,22	4,0	0,11
5 ($CaCl_2$)	8	16,5	2,3	1,8	4,9	1,2	0,95	0,81	0,94	0,21	3,9	0,12

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как видно из табл. 4, значения показателей антигололедного ЩМА с содержанием битума в 6 и 8 %, за исключением коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении, близки между собой.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о возможности получения антигололедных ЩМА с добавками кристаллических NaCl или смеси NaCl и $CaCl_2$ в количестве 5 % от массы минеральной части с соотношением хлористого кальция к хлористому натрию не более 1:8. Введение в ЩМА противоморозной добавки NaCl в количестве 5 % уменьшает адгезию льда при -10 °С в 2,5 раза. Внесение в состав противоморозной добавки 12,5 % хлористого кальция (от массы всей соли) позволяет снизить величину адгезии на 17 % и довести температуру смерзания раствора на поверхности покрытия до -10 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах / Утв. распоряж. Росавтодора Минтранса РФ от 16.06.2003, № ОС-548-р. – 114 с.
2. Розов Ю.Н., Розов С.Ю., Френкель О.В. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: обзорная информация. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2006. – 104 с.
3. Dupuis I., Hussain N. Glatteishemmender Strassenbelag auf der Umfahrungsstrasse von Valangin // Strasse und Verkehr, 1977, v. 63, № 4.
4. Салихов М.Г., Хамзин М.Х., Щербаков Ю.Е., Куклин А.Ю., Марков Е.В. О разработке составов, производстве и укладке асфальтобетонов с пониженной адгезией льда // Сб. научных трудов Всероссийской НПК. Современные научно-технические проблемы транспортного строительства. – Казань: КазГАСУ, 2006. – С. 104-106.
5. Кудрявцев А.В. Гидрофобизация дорожного покрытия для борьбы с гололедом // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сборник материалов международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – С. 200-201.
6. Лысенко В.Е. Антигололедное покрытие // Автомобильные дороги, 1996, № 4. – С. 18.
7. Котухов А.Н. Антигололедный асфальтобетон для дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук. – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2003. – 198 с.
8. Ковалев Н.С., Ромасев В.И. Противогололедные битумоминеральные смеси для строительства автомобильных дорог // Матеріали IV міждународноі науково-практичноі конференціі «Динаміка наукових досліджень – 2005». Том 48. Будівництво та архітектура. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 26-29.
9. Салихов М.Г., Щербаков Ю.Е., Федоров А.А., Онучин В.М., Курандин С.С., Сапцин В.П. Влияние крупности зерен обработанной битумом противоморозной соли на ее растворимость и адгезию льда к поверхности асфальтобетона // Межвузовский сборник научных статей. Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов – 2007. – Йошкар-Ола: МГТУ, 2008. – С. 217-221.
10. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. – М., 2002. – 22 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 539.3
Р.А. Каюмов – доктор физико-математических наук, профессор
И.З. Мухамедова – кандидат физико-математических наук, доцент
А.М. Шакирова – кандидат физико-математических наук
E-mail: kayumov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
И.Ш. Абдуллин – доктор технических наук, профессор
В.В. Хамматова – доктор технических наук, профессор
E-mail: venerabb@mail.ru
Казанский государственный технологический университет им. Кирова

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

АННОТАЦИЯ

Предложена модель поведения полиэфирной ткани, подверженной обработке плазмой пониженного давления для оценки ее деформативности в своей плоскости. Излагается метод идентификации жесткостных характеристик, приводятся результаты обработки натурных экспериментов, а также результаты численных исследований задачи о растяжении образцов ткани.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полиэфирная ткань, идентификация, жесткость, холодная плазма.

R.A. Kayumov – doctor of physical-mathematical sciences, professor
I.Z. Mukhamedova – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
A.M. Shakirova – candidate of physical-mathematical sciences
Kazan State University of Architecture and Engineering
I.Sh. Abdullin – doctor of technical sciences, professor
V.V. Khammatova – doctor of technical sciences, professor
Kazan State Technological University

ANALYSIS OF INFLUENCE OF COLD PLASMA ON THE STIFFNESS CHARACTERISTICS OF POLYMERIC MATERIALS

ABSTRACT

The present paper is devoted to model of the behavior of polyester fabric, exposed by the cold plasma treatment to assess its deformability in its plane. There are offered the method of identification of the stiffness characteristics, the results of processing field experiments, as well as the results of numerical studies of the problem of tensile samples.

KEYWORDS: polyester fabric, identification, stiffness, cold plasma.

Введение

Волокна из таких материалов, как полиэтилен и политетрафторэтилен, имеют высокие прочностные характеристики, что делает их перспективными для использования в композиционных материалах. Но сдерживающим фактором является относительно низкая прочность сцепления (адгезия) этих волокон к полимерным матрицам.

Наиболее важным в практическом отношении результатом воздействия низкотемпературной плазмы на полимерные материалы является сильное повышение их адгезионных характеристик [1-6]. Это позволяет создавать композиты на основе высокопрочных полиэтиленовых волокон. Однако при облучении холодной плазмой этих видов материалов уменьшаются их жесткостные характеристики.

* Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № 2432 от 19.11.2009 г.) и при поддержке РФФИ № 08-01-00628-а.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поэтому для полноценного анализа изменения жесткостных характеристик в различных направлениях полимерных композиционных материалов (ПКМ), модифицированных в потоке холодной плазмы, необходимо иметь их математические модели.

1. Физические соотношения

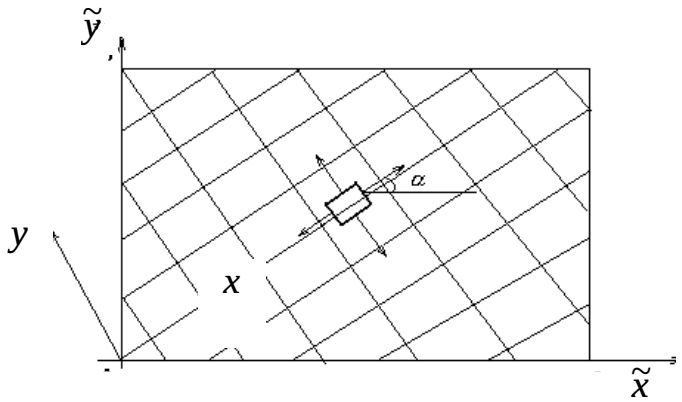


Рис. 1. Образец ткани, вырезанный под углом a к основе

Введем понятия жесткостей. Для тканей понятия напряжений s_{11}, s_{22}, s_{12} (усилий, приходящихся на единицу площади поперечного сечения ткани) становятся неудобными. Поэтому в дальнейшем будем оперировать только усилиями, приходящимися на единицу длины сечения образца. Обозначим их через N_{11} (погонное усилие вдоль направления основы, приходящееся на 1 мм длины поперечного сечения), N_{22} (погонное усилие вдоль направления утка), N_{12} (погонное усилие сдвига). Элемент при этом получает относительные удлинения ε_{11}, ε_{22}, а первоначально прямой угол изменяется на угол сдвига γ_{12}. Введем векторы $\{N\}$, $\{\varepsilon\}$:

$\{N\} = \{ N_{11}, N_{22}, N_{12}\}^{т}$, $\{\varepsilon\}=\{ \varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \gamma_{12}\}^{т}$

Индекс «т» означает операцию транспонирования.

Для нелинейного случая для ткани в осях ортотропии x, y упругий потенциал, с помощью которого погонные усилия выражаются через деформации с помощью соотношения $N_{ij} = \partial W / \partial e_{ij}$, примем в следующем виде:

$$W = D_{110}e_{11}^2/2 + D_{112}e_{11}^4/12 + D_{120}e_{11}e_{22} + D_{220}e_{22}^2/2 + D_{222}e_{22}^4/12 + D_{330}g_{12}^2/2 + D_{334}g_{12}^6/30 \quad (1)$$

Тогда связь приращений погонных усилий dN_{ij} через приращения деформаций de_{ij} в осях ортотропии согласно (1) примет вид:

$$d\{N\} = [D]d\{e\} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{bmatrix} d\{e\} \quad (2)$$

$$\begin{cases} D_{11} = D_{110} + D_{112}e_{11}^2, \quad D_{22} = D_{220} + D_{222}e_{22}^2 \\ D_{12} = D_{12} = D_{120}, \qquad D_{33} = D_{330} + D_{334}g_{12}^4 \\ D_{23} = D_{32} = D_{13} = D_{31} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Упругий закон в лабораторной системе координат $\tilde{x}\,\tilde{y}$, т.е. в осях, параллельных краям испытываемого прямоугольного образца ткани, изображенного на рис. 1, примет вид:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$d\{\tilde{N}\}=[\tilde{D}]d\{\tilde{e}\}\text{, где } [\tilde{D}]=[T][D][T]^T,\ T=\begin{bmatrix} Cos^2a & Sin^2a & -Sin2a \\ Sin^2a & Cos^2a & Sin2a \\ \frac{Sin2a}{2} & \frac{-Sin2a}{2} & Cos2a \end{bmatrix} \quad (4)$$

Аналогично вводится упругий потенциал для ткани, модифицированной холодной плазмой. Отличать соотношения будем с помощью индекса «*»:

$$W^* = D^*_{110}e^2_{11}/2 + D^*_{112}e^4_{11}/12 + D^*_{120}e_{11}e_{22} + D^*_{220}e^2_{22}/2 + D^*_{222}e^4_{22}/12 + D^*_{330}g^2_{12}/2 + D^*_{334}g^6_{12}/30 \quad (5)$$

2. Модель деформирования образцов ткани

Для численного анализа процесса деформирования образцов тканей использовался метод конечных элементов (МКЭ). В качестве подобласти принимался шестиузловой треугольный элемент второго порядка [8].

Для учета неспособности ткани воспринимать сжимающую нагрузку использовался следующий подход. На каждом шаге приращения нагрузки анализируется силовое поле N_{ij}. Если вдоль основы или утка усилия N_{11} или N_{22} принимают отрицательные значения, то на этом шаге соответственно жесткости D_{11} или D_{22} уменьшаются на несколько порядков (в нашем случае в 500 раз). После этого заново проводится решение уравнений равновесия и усилия пересчитываются. Эта процедура проводится до тех пор, пока не стабилизируется поле деформаций и усилий.

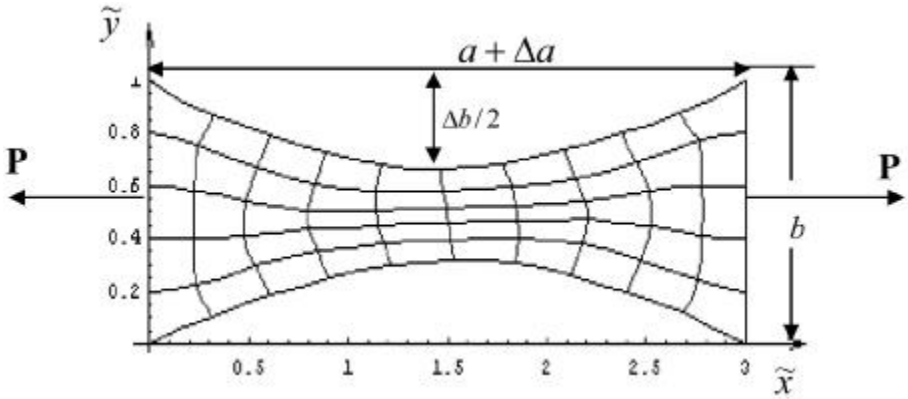


Рис. 2. Картина образца в растянутом состоянии

3. Идентификация механических характеристик

Под задачами идентификации в научной литературе понимают обратные (в математическом смысле) задачи, в которых по известным входным и выходным экспериментальным данным определяются параметры модели, описывающей поведение системы [7]. Изложенная выше модель была использована для идентификации механических характеристик тканей на основе численного анализа поведения образцов тканей, в том числе обработанных холодной плазмой. Для этого рассматривались эксперименты о растяжении образцов, вырезанных под углом a к основе (см. рис. 1, 2).

Задачу идентификации можно ставить следующим образом. Считаются известными данные испытаний конструкций с замером внешних воздействий, а параметры математической модели поведения материала и конструкций являются искомыми. Рассматривается прямая задача расчета деформированного состояния образца, параметры же модели подбираются так, чтобы были близки результаты численного расчета и экспериментальные данные. Например, можно потребовать минимума квадратичной невязки между расчетными и экспериментальными данными. Она имеет вид:

$$d^2 = v_1[(P_y^{cp})^{эксп} - (P_y^{cp})^{расч}]^2\Big|_{P_1 a_1} + m_1[\Delta a^{эксп} - \Delta a^{расч}]^2\Big|_{P_1 a_1} + k_1[\Delta b^{эксп} - \Delta b^{расч}]^2\Big|_{P_1 a_1} + \ldots$$
$$\ldots + v_n[(P_y^{cp})^{эксп} - (P_y^{cp})^{расч}]^2\Big|_{P_n a_n} + m_n[\Delta a^{эксп} - \Delta a^{расч}]^2\Big|_{P_n a_n} + k_n[\Delta b^{эксп} - \Delta b^{расч}]^2\Big|_{P_n a_n} \quad 8)$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

здесь n – количество проведенных экспериментов, $\Delta a^{эксп}, \Delta b^{эксп}$ – экспериментальные значения изменений сторон образца в продольном и в поперечном направлениях соответственно (см. рис. 2), а $\Delta a^{расч}, \Delta b^{расч}$ – расчетные значения вышеперечисленных изменений. $P_1,....P_n$ – величины нагрузок, $a_1,....a_n$ – углы между основой и длинной стороной образца, $v_1,...,v_n, m_1,..m_n, k_1,...k_n$ – весовые коэффициенты.

В данной работе считаются неизвестными жесткостные характеристики $D_{110}, D_{114}, D_{220}, D_{224}, D_{120}, D_{330}, D_{334}$. Особенностью этого класса задач является то, что при любых деформациях должно выполняться следующее ограничение:

$$D_{11} D_{22} - D_{12}^2 > 0 . \qquad (9)$$

Поэтому упругий потенциал должен подбираться специальным образом. В частности, условие (9) будет обеспечено, если принять $D_{110} D_{220} - D_{120}^2 > 0$.

Затем были обработаны результаты экспериментов о растяжении образцов полиэфирной ткани размерами *94 мм* на *50 мм*.

Далее были обработаны результаты испытаний на растяжение полиэфирной (ВПЭ-100) ткани до и после обработки холодной плазмой. На первом этапе жесткостные характеристики $D_{110}, D_{112}, D_{220}, D_{222}, D_{120}, D_{330}, D_{334}$ определялись по данным испытаний образцов из полиэфирной (ВПЭ-100) ткани, вырезанных под разными углами $(0^{\circ}, 90^{\circ}, 45^{\circ})$ к основе, при различных растягивающих усилиях. Образец, вырезанный под углом 30° к основе, считался контрольным. Расчеты дали следующие значения для D_{ijk}:

ВПЭ100 (исходная необработанная ткань):

$$D_{110} = 1.58, \quad D_{112} = 8000, \quad D_{220} = 0.95, \quad D_{222} = 1500, \quad D_{120} = 0.178, \quad D_{330} = 0.065, \quad D_{334} = 13.5 \quad \text{[МПа*мм]}$$

ВПЭ100 (ткань, обработанная холодной плазмой в теч. 180 сек.):

$$D_{110}^* = 1.2, \quad D_{112}^* = 5900, \quad D_{220}^* = 0.835, \quad D_{222}^* = 1000, \quad D_{120}^* = 0.178, \quad D_{330}^* = 0.045, \quad D_{334}^* = 2 \quad \text{[МПа*мм]}$$

С помощью разработанной модели была рассмотрена задача о деформировании контрольного образца, вырезанного под углом 30°. Ниже на рис. 3 представлены зависимости усилия растяжения P от продольной деформации Δa для контрольных образцов тканей. Видно, что полученные результаты хорошо согласуются с экспериментом для контрольного образца.

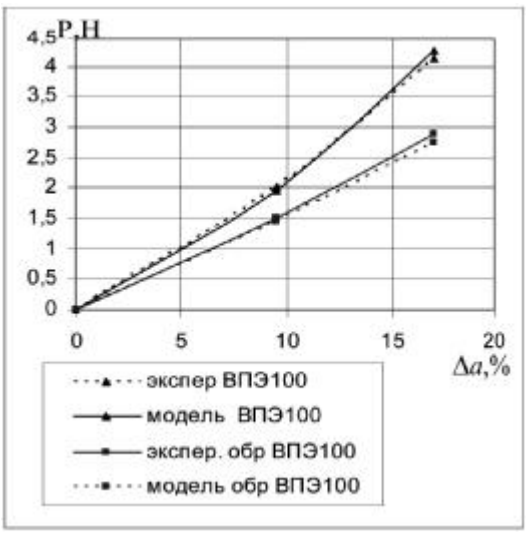


Рис. 3. Зависимость среднего усилия на торце P, H от Δa экспериментальных данных и теоретической кривой по найденным жесткостным характеристикам при $a = 30^{\circ}$ для образцов ткани ВПЭ-100

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Далее были получены зависимости механических характеристик от интенсивности воздействия плазмы на ткань. Для этого идентификация параметров D_{ijk} проводилась для каждой дозы облучения.

Для полиэфирной ткани эти зависимости представлены на рис. 4. Видно, что при увеличении дозы облучения холодной плазмой коэффициенты, входящие в характеристики (3), уменьшаются, т.е. ткань, модифицированная в потоке холодной плазмы, становится мягче.

На рис. 5 представлены зависимости жесткостных характеристик D_{ij} от деформаций образца при разной продолжительности воздействия холодной плазмы на ткань ВПЭ-100.

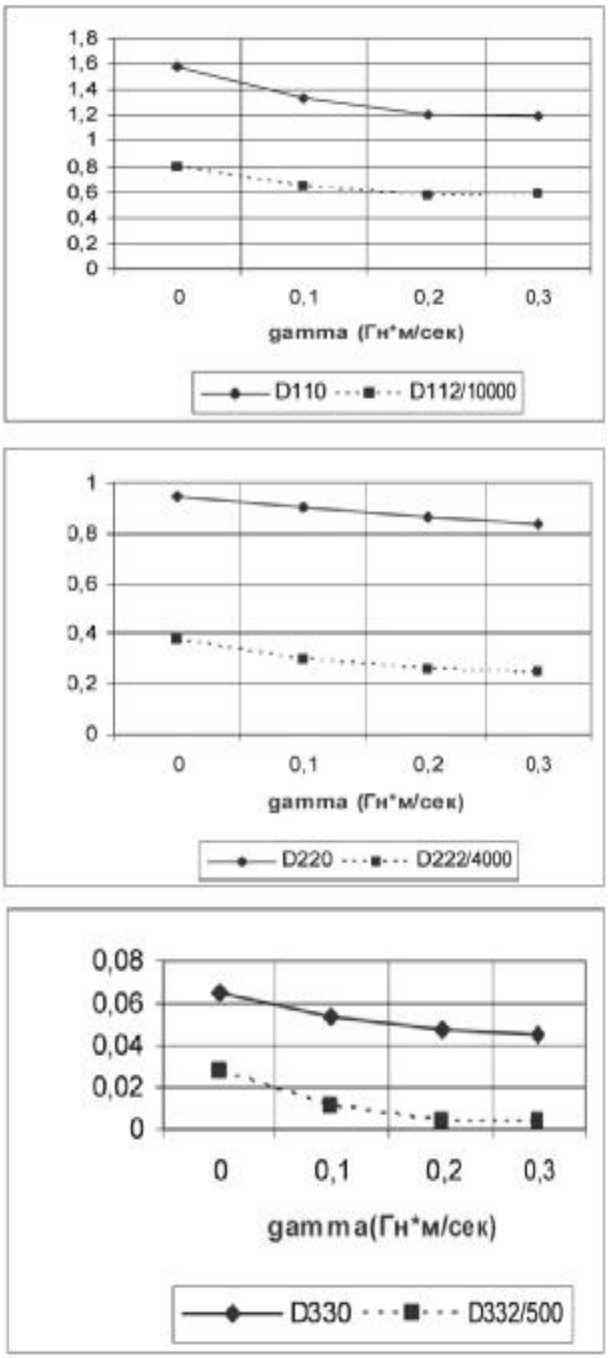


Рис. 4. Зависимости нелинейных жесткостных характеристик от дозы облучения gamma для ткани ВПЭ-100

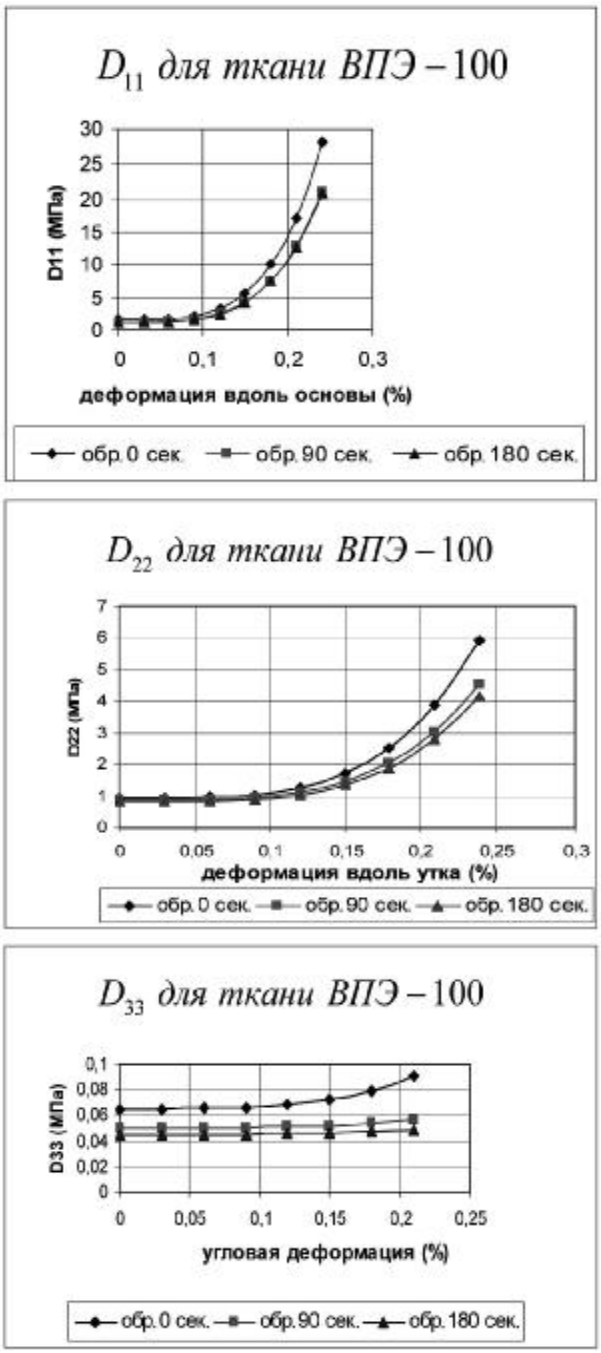


Рис. 5. Графики зависимостей жесткостных характеристик D_{11}, D_{22}, D_{33} от деформаций для необработанных и обработанных образцов из ткани ВПЭ-100

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Заключение

Предложенная конечно-элементная модель деформирования нелинейно-упругих тканевых материалов позволяет исследовать закономерности поведения образцов ткани при различных нагрузках с учетом того, что материал не способен воспринимать сжимающие нагрузки.

Разработанная методика экспериментального определения жесткостных характеристик тканей по результатам испытаний образцов, вырезанных под разными углами ($0^0, 90^0, 30^0, 45^0$) к основе при различных растягивающих усилиях, позволила провести анализ влияния обработки ткани холодной плазмой на ее механические характеристики. Выявлено, что падение жесткостей составляет величины порядка 15 % вдоль основы, 35 % – вдоль утка, 45 % – на сдвиг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В. Влияние потока низкотемпературной плазмы на свойства текстильных материалов. – Казань: Изд-во КГУ, 2003. – 216 с.
4. Серазутдинов М.Н., Каюмов Р.А., Хамматова В.В. Расчет деформационных свойств текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2006, № 5. – С. 34-38.
5. Кутепов А.М., Захаров А.Г., Максимов А.М. Вакуумно-плазменное и плазменно-растворное модифицирование полимерных материалов. – М.: Наука, 2004. – 496 с.
6. Беляев Н.Н., Рассказова Е.А. Модификация шерстяных и химических волокон обработкой в низкотемпературной плазме // Экспресс информация. Текстильная помышленность. – М.: ЦНИИШерсти, 1983, № 53. – 27 с.
7. Герасимова Н.А., Кузьмичев В.Е., Веселов В.В. Совершенствование физико-химических способов повышения прочности адгезионных соединений // Деп. в ЦНИИТЭЛегпром, 08.09.86, № 1755. – ЛП.
8. Шацкая Т.Е., Натрусов В.И., Смирнов Ю.Н., Аллаяров С.Р., Кудинов В.В., Корнеева Н.В. Создание конкурентоспособных композиционных материалов на основе высокопрочных высокомодульных полиэтиленовых волокон // Ползуновский альманах, 2007, № 1. – 189 с.
9. Каюмов Р.А., Нежданов Р.О., Тазюков Б.Ф. Определение характеристик волокнистых композитных материалов методами идентификации. – Казань: Изд-во КГУ, 2005. – 258 с.
10. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1985. – 329 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.33: 53:[628.388.79]
Е.В. Королев – доктор технических наук, профессор
О.В. Королева – кандидат технических наук, доцент
А.П. Самошин – кандидат технических наук
В.А. Смирнов – кандидат технических наук
E-mail: korolev@pguas.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КРУПНОПОРИСТЫХ КАРКАСОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

АННОТАЦИЯ

Представлены теоретические основы и приведены результаты экспериментальных исследований закономерностей структурообразования крупнопористых каркасов радиационно-защитных материалов вариатропно-каркасной структуры. Получены модели влияния основных рецептурно-технологических факторов на свойства крупнопористых каркасов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: крупнопористые каркасы, физико-механические свойства, защита от радиации.

E.V. Korolev – doctor of technical sciences, professor
O.V. Koroleva – candidate of technical sciences, associate professor
A.P. Samoshin – candidate of technical sciences
V.A. Smirnov – candidate of technical sciences
Penza State University of Architecture and Construction

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE LARGE-SCALE SKELETON FOR RADIATION-PROTECTIVE MATERIALS

ABSTRACT

The theoretical base and experimental data concerning characteristics of structure forming process of large-scale skeleton of radiation-protective materials of variable-framed structure are presented. The statistical models of influence of primary technological and compositional factors to the properties of skeleton are developed.

KEYWORDS: large-scale skeleton, physical and mechanical properties, protection form radiation.

Экспертные оценки запасов природных углеводородов указывают, что при существующих темпах экономического и промышленного роста их природные запасы будут исчерпаны к середине XXI века. Это заставляет мировое сообщество обратить особое внимание на атомную энергетику, которая, как предполагается, станет лидером в производстве электроэнергии. Приоритет в развитии атомной энергетики установлен и в России: Правительством РФ одобрена программа «Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века». Это потребует создания новых эффективных строительных материалов для защиты от радиации.

В технологии радиационно-защитных бетонов имеются как методологические, так и технологические трудности. В частности, методологические проблемы связаны с определением критериев качества таких материалов (перечня свойств и их количественных значений), а технологические – с обеспечением однородного распределения компонентов по объёму изделия, предотвращением усадки и образования термических трещин при охлаждении изделия, а также со снижением затрат труда и исключением трудоёмких операций.

Методологические задачи решаются в рамках системно-структурного подхода и системного анализа, в соответствии с которыми оценку и анализ строительных материалов производят на основе

* Печатается при финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых МД-68.2009.8.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

рассмотрения материала как целостной и единой системы с присущими системными свойствами и парадоксами целостности и иерархичности. Основное системообразующее свойство системы «строительный материал» определяется поверхностными явлениями и граничными взаимодействиями, обеспечивающими её целостность [1].

На наш взгляд, основные технологические задачи во многом решаются в рамках каркасной технологии. Применение этой технологии позволит обеспечить равномерное распределение заполнителя в объёме изделия и увеличить показатели эксплуатационных свойств бетона. Однако возникает необходимость решения ряда взаимосвязанных задач, а именно: определить гранулометрический состав заполнителя (диаметр и форму зерна, количество фракций заполнителя), из которого формируется плотный и прочный каркас, обладающий высокой фильтрационной способностью; обосновать выбор пропиточного материала, характеризующегося требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

С применением компьютерного моделирования [2] установлено, что получение каркасов, соответствующих указанным требованиям, возможно при незначительном варьировании диаметра зёрен заполнителя: для всех типоразмеров изделий при кубической укладке зёрен максимальная степень наполнения наблюдается при $d_{opt} \in I[1{,}47\ldots2{,}17]$ мм, а при гексагональной – $d_{opt} \in I[4{,}04\ldots5{,}74]$ мм. Отклонение диаметра заполнителя от оптимального размера приводит к резкому снижению степени наполнения каркаса. Показано также, что из радиационно-защитных каркасных металлобетонов целесообразно изготавливать изделия в виде плит.

Одним из основных показателей, определяющих качество каркаса, является его фильтрационная способность, которая характеризуется степенью заполнения объёма межзерновых пустот каркаса пропиточным составом и продолжительностью пропитки каркаса.

Оценку фильтрационной способности каркасов целесообразно проводить по разработанной модели течения расплава по каналам каркаса, учитывающей гидродинамическое сопротивление и поверхностные явления на границе раздела фаз «заполнитель − расплав»:

$$t_{пр} = \frac{4\varphi^4 \eta V_{изд} (1-\Pi)^4 \xi H}{5\Pi^2 \left(\Pi^2 d_э^4 g\rho H + 6\sigma\varphi(1-\Pi)\cos\theta\right)},$$

где Π – пустотность каркаса; $V_{изд}$ – объём изделия; θ – краевой угол смачивания; H – высота изделия; ц – коэффициент формы; $d_э$ – эквивалентный диаметр зерна заполнителя; ξ – коэффициент извилистости (в первом приближении можно принять $\xi = \pi/2$); $\sigma = 0{,}3879 + 2\cdot10^{-4}T - 2\cdot10^{-7}T^2$; $\eta = 16{,}62T^{-1{,}365}$; η – вязкость расплава свинца; ρ – плотность пропиточной композиции; σ – поверхностное натяжение расплава.

Анализ расчётных данных показывает, что поверхностные явления оказывают очевидное влияние на процесс течения расплава: с увеличением краевого угла смачивания наблюдается замедление процесса пропитки каркаса. Более значительное влияние на продолжительность пропитки оказывают геометрические факторы, а именно: диаметр зерна заполнителя, высота изделия и пустотность зернового слоя. Применение заполнителя большей крупности способствует сокращению продолжительности пропитки.

Адекватность полученных теоретических расчётов подтверждается результатами экспериментальных исследований сколов образцов модельных бетонов (рис. 1).

а) **б)**

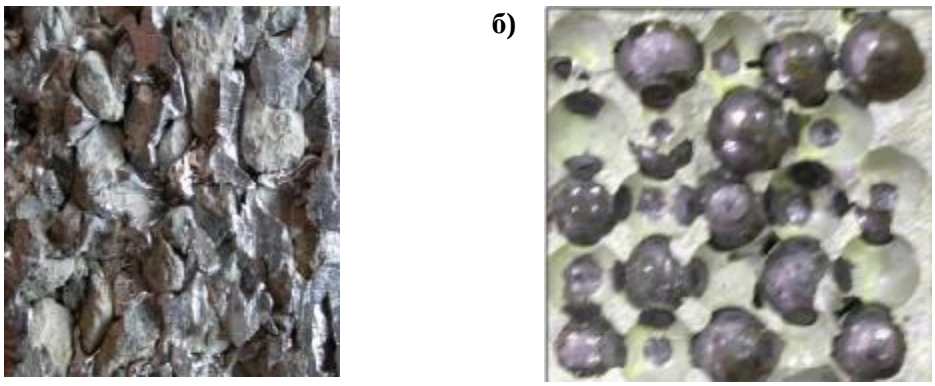


Рис. 1. Фотографии сколов образцов модельных каркасных бетонов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Согласно [3, 4] прочность материала, состоящего из монодисперсных частиц, склеенных между собой в местах контактов, определяется в общем случае прочностью и числом контактов в единице объёма структуры

$$R = \gamma_1 \overline{F_c} n^{\frac{2}{3}},$$

где $\overline{F_c}$ – средняя сила сцепления в контакте; n – число контактов в единице объёма; γ_1 – константа.

Увеличение $\overline{F_c}$ и n приводит к повышению прочности. Очевидно, что прочность контактов зависит от расхода клеевой композиции (рис. 2). Анализ рис. 2 показывает, что зависимость прочности каркасов от количества клея имеет экстремальный характер. Это можно объяснить следующим образом. При совмещении клея с заполнителем формируется материал, в котором зёрна раздвинуты на определённое расстояние. В каркасах с малым содержанием клея раздвижка минимальна, распределение по объёму неравномерное, что определяет низкие значения прочности при малом расходе клея. Дальнейшее увеличение количества клея приводит к закономерному повышению его толщины на зёрнах заполнителя, формированию прочных единичных контактов и увеличению прочности каркаса. При высоких расходах толщина клея высока, что приводит к возникновению высоких внутренних напряжений, которые, суммируясь с эксплуатационными воздействиями, значительно снижают прочность единичного контакта и каркаса.

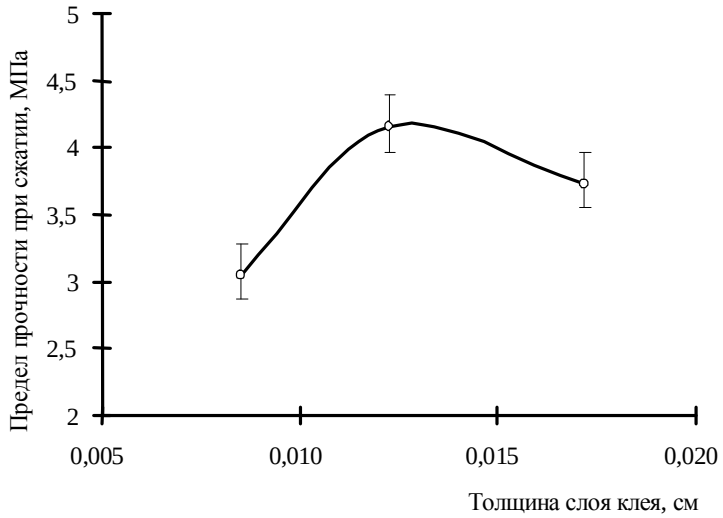


Рис. 2. Зависимость прочности каркасов от количества клея

Таблица 1

Экспериментально-статистические модели влияния основных рецептурно-технологических факторов на физико-механические свойства крупнопористых каркасов на основе ферроборового шлака

Вид клеевой композиции	
Модифицированная жидкостекольная	Цементная
Средняя плотность, кг/м^3	
$\rho_{ср} = C_{опос}(0{,}0714T - 0{,}7143t - 52{,}857) - 0{,}8884T - 1{,}7857t + 2255{,}5$	$\rho_{ср} = 1220{,}8 + 225\,В/Ц - 3{,}75C_{С-3}$
Пустотность, %	
$П = C_{опос}(1{,}2788 + 1{,}6677T + 1{,}6647t) - 0{,}0792T + 0{,}1456t + 29{,}088$	$П = 60{,}86 - 20{,}5\,В/Ц - 2{,}125C_{С-3}$
Предел прочности при сжатии, МПа	
$R_{сж} = C_{опос}(1{,}416 - 0{,}0011T - 0{,}0219t) + 0{,}0077T + 0{,}1663t - 8{,}78$	$R_{сж} = 1{,}91 - 3{,}1\,В/Ц + 0{,}01C_{С-3}$

Примечания: $C_{опос}$ – количество ОПОС (6…10 %); T – температура изготовления каркаса; t – продолжительность изотермической выдержки; $В/Ц$ – водоцементное отношение; $C_{С-3}$ – содержание суперпластификатора, %.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Физико-механические свойства каркасов как на основе цементной и эпоксидной композиций, так и на основе жидкого стекла, модифицированного отходом оптической промышленности (ОПОС), зависят от толщины прослойки клея, которая определяется его вязкостью. В табл. 1 приведены ЭС-модели свойств для каркасов на цементной и жидкостекольной клеевых композициях.

Коэффициент вариации для каркасов на эпоксидной клеевой композиции (табл. 2) имеет пониженные значения, что указывает на формирование каркасов со стабильным качеством, равномерным распределением зёрен и клея по объёму изделия.

Таблица 2

Свойства каркасов на эпоксидной клеевой композиции

Количество клея, % от массы заполнителя	Толщина слоя клея, мкм	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент вариации, %
1,36	172	3,73	6,41
0,97	122	4,15	7,45
0,67	85	3,05	5,86

В работе [5] предложена модель крупнопористого бетона (аналог каркаса) в виде совокупности зёрен сферического заполнителя одинакового размера, соприкасающихся между собой и покрытых слоем равномерно распределённого клея определённой толщины. При этом в зонах контактов образуются утолщения клея, которые и оказывают доминирующее влияние на прочность таких бетонов. Для оценки влияния толщины слоя клея и диаметра заполнителя на геометрические характеристики контакта предложен структурный показатель, равный

$$k_{st} = \sqrt{0{,}375 + 6\frac{h_{кл}}{d_з} - \sqrt{0{,}14 - 1{,}5\frac{h_{кл}}{d_з}}}\ .$$

Прочность крупнопористого бетона зависит от величины этого показателя

$$R = Kk_{st}^2,$$

где K – эмпирический коэффициент.

Значения структурного показателя и эмпирического коэффициента для исследуемых каркасов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения k_{st} и K

Количество клея, % от массы заполнителя	Толщина слоя клея, мкм	k_{st}	K
1,36	172	0,032	3700
0,97	122	0,031	4350
0,67	85	0,030	3300

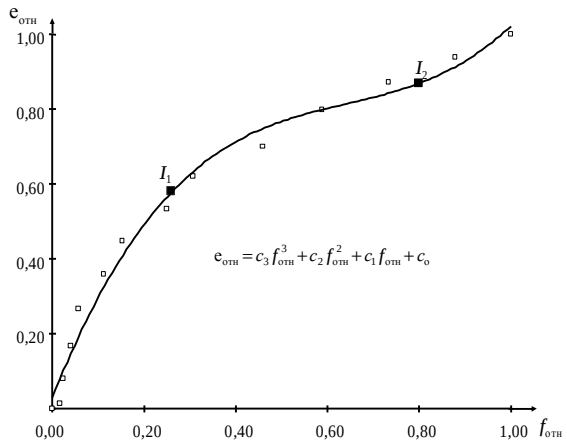


Рис. 3. Типичная диаграмма «нормированная деформация – нормированная нагрузка» крупнопористых каркасов

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из табл. 3 следует, что структурный показатель монотонно уменьшается при изменении расхода клея, а характер изменения эмпирического коэффициента *K* имеет экстремальный характер, который хорошо объясняется в рамках предложенной ранее модели влияния толщины слоя клея на внутреннее напряжённое состояние каркасов и прочность контактов.

Оценка деформативных свойств каркасов проведена на основе анализа диаграмм «деформация – нагрузка». Типичная зависимость диаграмм «нормированная деформация − нормированная нагрузка» представлена на рис. 3.

Анализ экспериментальных данных показывает, что основные параметры диаграммы деформирования крупнопористых каркасов, значения границ I_1, I_2 и относительная энергия разрушения зависят от рецептурно-технологических факторов (табл. 4). Так, с увеличением толщины клеевой прослойки возрастает прочность каркаса и его относительная энергия разрушения. Значения границ I_1, I_2 позволяют оценить характер разрушения. На участке «0–I_1» происходит деформирование материала без значительного разрушения его структуры. Разрушаются только перенапряжённые связи, общее количество которых можно оценить по величине внутренних напряжений. На участке «I_1–I_2» происходит интенсивное поглощение материалом внешней энергии вследствие зарождения и развития микротрещин (в том числе их ветвления на дефектах). На участке «I_2–1» (объединение микротрещин в макротрещины и зарождение магистральной трещины) интенсивно разрушается каркас.

Таблица 4

Параметры диаграмм разрушения крупнопористых каркасов

Состав / технологические параметры изготовления	Интервал			I_1	I_2	$E_{отн}$
	0–I_1	I_1–I_2	I_2–1			
Цементная клеевая композиция						
В/Ц=0,33 СЗ − 0,01% от массы цемента	0,014 / 3,53	0,383 / 96,47		0,26	1,0	0,40
В/Ц=0,43 СЗ − 0,01% от массы цемента	0,047 / 8,69	0,494 / 91,31		0,30	1,0	0,54
В/Ц=0,43 СЗ − 0,03% от массы цемента	0,114 / 21,55	0,415 / 78,45		0,45	1,0	0,53
Модифицированная жидкостекольная композиция						
6,6% ОПОС / 820°С / $t_{820}+15$ мин*	0,093 / 13,58	0,467 / 68,18	0,125 / 18,25	0,27	0,87	0,69
6,6% ОПОС / 880°С / $t_{880}+15$ мин*	0,109 / 15,55	0,502 / 71,61	0,09 / 12,84	0,30	0,91	0,70
6,6% ОПОС / 820°С / $t_{820}+25$ мин*	0,093 / 12,99	0,436 / 60,89	0,187 / 26,12	0,24	0,80	0,72
10,1% ОПОС / 820°С / $t_{820}+15$ мин*	0,095 / 13,21	0,435 / 60,50	0,189 / 26,29	0,25	0,80	0,72
Эпоксидная клеевая композиция						
1,36**	0,016 / 4,42	0,125 / 34,53	0,221 / 61,05	0,20	0,64	0,36
0,97	0,008 / 2,88	0,066 / 23,74	0,204 / 73,38	0,20	0,59	0,28
0,67	0,010 / 3,14	0,095 / 29,87	0,213 / 66,98	0,20	0,63	0,32

Примечания: В числителе – абсолютное значение энергии разрушения, в знаменателе − относительное значение в %, вычисленное по формуле $100E_iE_{отн}^{-1}$; * − термообработка проводилась по режиму: нагрев + изотермическая выдержка; t_i − продолжительность нагрева до температуры изотермической выдержки; ** – % от массы дроби.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Из табл. 4 следует, что увеличение В/Ц и содержания суперпластификатора приводит к уменьшению прочности каркаса и значений $E_{отн}$ вследствие повышения подвижности и снижения толщины слоя клея.

Анализ диаграмм деформирования каркасов на основе модифицированной жидкостекольной клеевой композиции показывает, что значительное влияние на физико-механические свойства оказывает концентрация модификатора ОПОС: при прочих равных условиях с увеличением его количества максимальные значения прочности и энергии разрушения достигаются при более мягком режиме изготовления. Это можно объяснить уменьшением вязкости клеевой композиции с введением ОПОС. Аналогичный эффект для композиций, содержащих малое количество модификатора, достигается при повышенной температуре (T=880 °С) и продолжительной изотермической выдержке (t=25 мин.).

Анализ параметров диаграмм* показывает, что закономерности деформирования и разрушения каркасов, изготовленных с различным расходом эпоксидного клея, подобны. Граница I_1 для всех каркасов имеет одинаковые значения, что свидетельствует об идентичности процесса деформирования в начальный период приложения нагрузки и об отсутствии зависимости этого процесса от расхода клея (кривые практически совпадают).

Граница I_2 для составов с расходом клея 0,97 % и величина, характеризующая продолжительность периода деформационного упрочнения

$$\Delta I' = I_2 - I_1,$$

имеют минимальные значения, что также выражается в относительно невысоком значении энергетического параметра $E_{отн}$. Однако показатель, характеризующий величину периода разрушения

$$\Delta I'' = 1 - I_2,$$

для таких каркасов имеет максимальные значения. При этом расходуется наибольшее количество подводимой энергии (73,38 %), т.е. происходит интенсивное ветвление растущей трещины.

Оптимизация рецептуры и технологии изготовления предлагаемых крупнопористых каркасов проведена по критерию качества:

$$F_к = \alpha_1 \sqrt[3]{k_\rho k_П k_R} + \alpha_2 \sqrt{k_\gamma k_\lambda} + \alpha_3 k_{ek},$$

где $K_{фм}$ – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства (средняя плотность, пустотность и прочность), вычисляемый по формуле $K_{фм} = \sqrt[3]{k_\rho k_П k_R}$; $K_{эк}$ – коэффициент, характеризующий эксплуатационные свойства (радиационно-защитные свойства и коэффициент теплопроводности), рассчитываемый по формуле $K_{эк} = \sqrt{k_\gamma k_\lambda}$; k_{ek} – технико-экономический критерий; $k_i = y_i / y_{max}$; y_i, y_{max} – значения показателя свойства $(k_i \le 1)$.

Установлено, что оптимальными являются следующие составы крупнопористых каркасов на ферроборовом шлаке, мас. %: состав №1: ферроборовый шлак − 86,96; цемент – 9,76; вода – 3,28; добавка С-3 – 2,6·10^{-4}; состав № 2: ферроборовый шлак – 81,00; жидкое стекло – 8,10; ОПОС – 10,10; отвердитель – 0,80; состав каркасов из свинцовой дроби, мас. %: свинцовая дробь с диаметром 8 мм – 99,03; эпоксидный клей (эпоксидная смола ЭД-20, полиэтиленполиамин – 13,5 % от массы смолы) – 0,97. Свойства разработанных каркасов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Свойства разработанных крупнопористых каркасов

Наименование показателя	Жидкостекольные клеевые композиции	Цементная клеевая композиция	Эпоксидная клеевая композиция
Средняя плотность, кг/м^3	1450	1320	6345
Пустотность, %	48,0	52,0	44,05
Предел прочности при сжатии, МПа	1,86	1,1	4,15
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	1,15	1,31	12,9
Линейный коэффициент ослабления г-излучения при энергии фотонов 1,0 МэВ, см$^{-1}$	0,109	0,077	0,446
Коэффициент выведения быстрых нейтронов, (2…10 МэВ), см$^{-1}$	5,48·10^{-2}	5,52·10^{-2}	1,16·10^{-2}

* Расчёт параметров диаграмм проводили по методике, изложенной в [6].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Разработанные крупнопористые каркасы пригодны для изготовления радиационно-защитных бетонов вариатропно-каркасной структуры. Пропитку таких каркасов целесообразно проводить пропиточными композициями на основе расплавов металлов и термопластов. При пропитке металлами реализуются все преимущества материала как эффективного поглотителя г-излучения в сочетании с высокой радиационной стойкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов А.М., Королев Е.В., Гарькина И.А. Строительные материалы как системы // Строительные материалы, 2006, № 7. – С. 55-57.
2. Баженов Ю.М., Прошин А.П., Королёв Е.В., Самошин А.П. Теоретические основы выбора вида заполнителя для каркасных бетонов // Известия вузов. Строительство, 2005, № 5. – С. 38-42.
3. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы: монография. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
4. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур: учебное пособие. – М.: Наука, 1966. – 347 с.
5. Ицкович С.М. Крупнопористый бетон (технология и свойства): монография. – М.: Стройиздат, 1977. – 117 с.
6. Евстифеева И.Ю., Королёв Е.В., Макридин Н.И., Егорев С.И. Предельные состояния структуры серных композитов // Строительные материалы, 2007, № 7. – С. 61-63.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691(063)
В.Г. Ласточкин – аспирант, инженер
Г.Д. Ашмарин – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
Р.А. Салахова – аспирант, научный сотрудник
E-mail: ashmarin@list.ru
Всероссийский научно-исследовательский институт строительных материалов и конструкций им. П.П. Будникова
В.В. Курносов – кандидат физико-математических наук, генеральный директор
ЗАО «Комас»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ
В статье рассмотрены теоретические и практические вопросы сушки и обжига керамических изделий. Сделан краткий анализ эффективности работы сушил и печей. Предложен один из способов повышения эффективности тепловой обработки изделий строительной керамики в печи-сушилке нового типа.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: керамические изделия, сушка, обжиг, эффективность тепловой обработки.

V.G. Lastochkin – post-graduate student, engineer
G.D. Ashmarin – candidate of technical sciences, associate professor, leading staff scientist
R.A. Salakhova – post-graduate student, staff scientist
The All-Russia Scientific Research Institute of Building Materials and Designs of P.P. Budnikova
V.V. Kurnosov – candidate of physical-mathematical sciences, general director
ZAO «Komas»

OPTIMISATION OF PROCESS OF THERMAL PROCESSING OF CERAMIC MATERIALS FOR THE PURPOSE OF POWER SAVINGS

ABSTRACT
The article considers theoretical and practical questions of drying and roasting of pottery. The short analysis of an overall performance is made dried also furnaces. One of methods of increase of efficiency of thermal processing of products of building ceramics in the furnace-dryer of new type is offered.
KEYWORDS: ceramic materials, drying, firing, efficiency of thermal processing.

Важнейшими переделами в технологии экструзионного формования керамических стеновых материалов из полиминерального легкоплавкого сырья является сушка и обжиг. Работы П.А. Ребиндера [1, 2], А.В. Лыкова [3, 4], Г.Д. Диброва [5] и других авторов о роли энергии связи влаги с материалом в формировании дисперсных пространственных структур и происходящих при этом физико-химических явлений подготовили основание для единого теоретического подхода к изучению влажностного состояния и твердения строительных материалов. При сушке и обжиге керамических изделий происходит тесное взаимодействие между процессами, протекающими внутри изделий и во внешней среде. Эти процессы подробно изучены и опубликованы в работах К.А. Нохратяна [6], М.С. Белопольского [7], В.М. Казанского [8], С.П. Ничипоренко [9] и других авторов. Ими изучены вопросы физико-химической механики дисперсных структур и исследованы кристаллизационные структуры глинистых минералов при температурах обжига керамических стеновых материалов.

При производстве керамических стеновых материалов сушку изделий производят исключительно термическим методом, при котором влага испаряется за счет теплообмена между изделием и окружающей средой.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Для осуществления процесса переноса тепла и влаги определенной массы необходимо наличие разности потенциалов – для теплового потока разность потенциала переноса влаги, для испарения влаги с поверхности изделия – разность парциальных давлений, водяных паров. При теплообмене разность потенциалов оценивается разностью температур. В сушилках и печах происходит непрерывный тепло- и массообмен между средой, влагой и изделиями по всем видам теплопередачи: омыванием (конвекцией), теплопроводностью (кондукцией) и лучеиспусканием (радиацией).

Сушильные агрегаты строятся, как правило, двух типов: большеразмерные камерные и туннельные. При использовании преимущественно чувствительного к сушке монтмориллонитового сырья используются больше камерные сушила, в которых можно задавать режимы сушки, соответствующие типу изделий.

Обжиг является завершающей операцией в производстве керамических изделий, определяющей качественные и эксплуатационные показатели готовой продукции: прочность, плотность, морозостойкость и другие показатели.

Обжиг как процесс формирования керамики обуславливается физико-химическими и физическими процессами, происходящими в изделиях, которые, в свою очередь, зависят от химического и минералогического состава сырья, характера и количества примесей и других факторов.

Ранее проведенными исследованиями многих авторов установлено, что при нагревании в глинистых материалах происходят следующие физико-химические процессы:

- выделение адсорбционно связанной воды;
- окисление органических примесей;
- выделение конституционной воды (дегидратация глинистых минералов);
- реакции декарбонизации и десульфиризации;
- реакции новообразований в твердых фазах;
- образование расплава и жидкофазные реакции;
- образование новых кристаллических фаз.

Обжиг является основным потребителем тепловой энергии и источником теплового загрязнения окружающей среды. В этой связи совершенствование тепловой работы обжиговых печей является весьма актуальной задачей.

Наибольшее распространение получили печи непрерывного действия, работающие по принципу противотока. Продукты сгорания, поступающие из топливосжигательных устройств в зону обжига, движутся по обжиговому каналу навстречу садке, нагревая её. Для создания организованного движения дымовых газов в печном канале создается разрежение с помощью дымососа, производящего отбор отработанных продуктов сгорания в зоне загрузки холодной садки кирпича.

К недостаткам этого метода тепловой работы печи можно отнести наличие разрежения в зоне подготовки, что приводит к неконтролируемым подсосам воздуха через неплотности рабочего пространства, снижающим равномерность нагрева изделий и энергоэффективность работы печи, а также отсутствие возможности форсировать процесс обжига, например, при переходе от обжига пустотелого кирпича к полнотелому. Так, при увеличении степени загромождения рабочего канала необходимо увеличивать тягу для эвакуации продуктов сгорания из зоны обжига, что вызывает существенное увеличение подсосов в зоне подготовки. На сегодняшний день к недостаткам противоточной схемы можно отнести также омывание продуктами сгорания кирпича в зоне подготовки. Использование на многих производствах глинистого сырья с высоким содержанием серы приводит к тому, что в зоне обжига происходит окисление серы, и она в виде сернистого газа с дымовыми газами поступает в зону подготовки, где происходит ее взаимодействие с поверхностью холодной садки, что приводит к высолам на поверхности изделий.

Для улучшения тепловой работы обжиговой печи предлагается установка системы отопления, использующей рекуперативные горелки. Применение рекуперативных горелок приводит к распределенному отбору дымовых газов по длине обжигового канала в отличие от сосредоточенного при традиционном способе отопления. Этот способ отопления печи позволяет снизить неконтролируемые подсосы из внепечного пространства, повысив качество нагрева изделий и энергоэффективность работы печи.

При традиционной схеме отопления обжиговой печи для увеличения срока службы дымососа и дымовой трубы температуру отходящих дымовых газов поддерживают на уровне 150-180 ^{o}C. Коэффициент избытка воздуха при этом составляет 5-10. Таким образом потери теплоты с уходящими дымовыми газами составляют 35-60 %. При использовании системы отопления с

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

рекуперативными горелками удается снизить эти потери до 20-25 %. Действительно, при высокой степени рекуперации температура отходящих дымовых газов будет составлять 250-300 °С при коэффициенте избытка воздуха в пределах 1,5-2, что будет соответствовать приведенному проценту потерь тепловой энергии.

Продукты сгорания, двигаясь впротивоток садке, удаляются последовательно по ходу движения через индивидуальные рекуператоры горелок, нагревая воздух, поступающий на горение, и замещаясь на свежие продукты сгорания, не содержащие окислов серы. Это позволяет заблокировать появление высолов на лицевой поверхности изделий при контакте с отработанными дымовыми газами, а также производить досушку кирпича в печи.

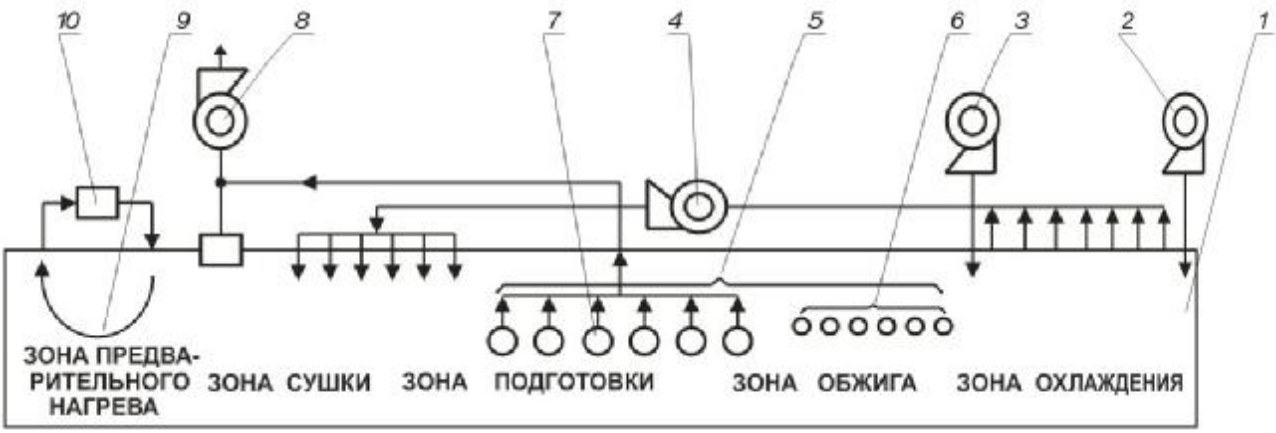
Следует отметить, что предлагаемая система отопления печей создает практически постоянное давление в обжиговом канале и способствует более качественному нагреву изделий.

Надо отметить, что несмотря на совершенствование сушил и печей, остается и их большой недостаток, состоящий в том, что они разобщены, и это приводит к значительному осложнению спецтранспорта, связанного с загрузкой и разгрузкой сушильных вагонеток и перекладкой кирпича на обжиговые вагонетки, сложной системой подачи и равномерного распределения теплоносителя в сушилки.

В настоящее время получило развитие производство пустотело-поризованных большеразмерных блоков, не требующих длительных сроков сушки и обжига. Наряду с этим увеличивается потребность в изделиях полнотелых или с небольшой пустотностью, производство которых со многих точек зрения целесообразно осуществлять методом компрессионного формования. При этом формование производится при относительной влажности из пресс-порошка такой влажности, при которой кирпич-сырец не имеет усадки при последующей тепловой обработке, т.е. относительная влажность кирпича сырца ниже критической влажности на 2-3 %. То есть появляется возможность также значительно форсировать режим и сократить продолжительность сушки изделий, существенно сократить тепловые потери. Для этой цели нами разработана, с учетом устранения недостатков действующих туннельных печей, туннельная печь-сушилка, обеспечивающая сушку и обжиг изделий без укладки их на сушильную вагонетку и перекладки с сушильной на печную, значительно упростив систему спецтранспорта современного завода и сократив издержки производства.

На рисунке схематично изображена туннельная предлагаемая печь-сушилка.

Туннельная печь-сушилка содержит рабочий канал 1, условно разделенный на зоны предварительного нагрева, сушки, подготовки, обжига и охлаждения, вентилятор 2 подачи атмосферного воздуха в конец зоны охлаждения, вентилятор 3 подачи атмосферного воздуха в начало зоны охлаждения, вентилятор 4 отбора горячего воздуха из зоны охлаждения и подачи его между зоной сушки и зоной подготовки, отопительную систему 5 зоны обжига со скоростными горелками 6, рекуперативные скоростные горелки 7, вентилятор 8 отбора дымовых газов из рекуперативных скоростных горелок 7, установленных в конце зоны подготовки, и отработанного теплоносителя из зоны сушки, систему рециркуляции 9, оснащенную воздухонагревателем 10, размещенную в зоне предварительного нагрева.



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Туннельная печь-сушилка работает следующим образом: в рабочий канал 1 туннельной печи-сушилки подают атмосферный воздух вентиляторами 2 и 3 соответственно в конец и начало зоны охлаждения, создавая подзоны умеренного и скоростного охлаждения. Вентилятором 4 отбирают горячий воздух по всей зоне охлаждения и подают его между зоной подготовки и сушки. Отопительной системой 5 зоны обжига подают в скоростные горелки 6 топливо и воздух, при сгорании которых нагреваются изделия до оптимальной температуры. Дымовые газы пропускают через установленные в зоне подготовки рекуперативные горелки 7, которые нагревают воздух до температуры 450 °С. Затем дымовые газы, прошедшие рекуперативные скоростные горелки 7, отбирают вентилятором 8 и выбрасывают в атмосферу, что исключает попадание их в зону подготовки и оседание вредных соединений, содержащихся в газах на сырце. Такое решение позволяет работать с коэффициентом избытка воздуха не более 2, существенно сократить зону подготовки за счет активного выравнивания температурного поля рекуперативными горелками, а также существенно снизить потери с уходящими дымовыми газами, тепло которых используют сразу после зоны обжига, то есть существенно увеличить коэффициент использования топлива и практически исключить появления высолов на готовых изделиях. Вентилятором 8 отбирают также из начала зоны сушки отработанный теплоноситель. Для улучшения качества сушки и ликвидации сушильного брака дополнительно перед зоной сушки предусмотрена зона нагрева сырца с размещенной в ней системой рециркуляции 9, оснащенной воздухонагревателем 10. Это позволяет смягчить режим сушки в результате равномерного нагрева изделий по всему объему канала без удаления влаги.

Использование в предлагаемом техническом решении системы рециркуляции, оснащенной воздухонагревателем, размещенной в зоне предварительного нагрева, и установленных в зоне подготовки рекуперативных скоростных горелок, выходы которых соединены с вентилятором отбора дымовых газов, позволяет повысить качество готовых изделий и сэкономить топливные ресурсы на 25-30 %, т.е. на 30-40 кг условного топлива на тонну изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966. – С. 3-16.
2. Ребиндер П.А. Научные основы технологии и развития производства стеновой строительной керамики в УССР. – Киев: Наук. Думка, 1970. – С. 21-29.
3. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – С. 17-27.
4. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Минск: Изд-во АНБССР, 1961. – 519 с.
5. Дибров Г.Д. и др. Изменение прочности пористых дисперсных тел в зависимости от условий взаимодействия с водой. ДАН, 1967, т. 174, № 1. – С. 154-157.
6. Нохратян К.А. Сушка и обжиг в промышленности строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1962. – С. 602.
7. Белопольский М.С. Научные основы технологии и развития стеновой строительной керамики. – Киев: Наук. Думка, 1972. – С. 89-98.
8. Казанский В.М. Удельная теплота испарения и потенциал переноса влаги капиллярно-пористых тел // ИФЖ, 1963, № 12. – С. 44-51.
9. Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. – Киев: Наук. Думка, 1968. – 112 с.
10. Будников П.П. Новая керамика. – М.: Стройиздат, 1969. – С. 312.
11. Тихи О. Обжиг керамики. – М.: Стройиздат, 1988. – 344 с.
12. Патент SU № 1390506, MKU F 27b9/00, опубл. 23.04.1988 г.
13. Патент RU № 2187771, MKU F 27b9/00, опубл. 20.08.2002 г.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.
Л.И. Насрыева – аспирант
В.С. Изотов – доктор технических наук, профессор
E-mail: leisano4ka@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Т.З. Лыгина – доктор геолого-минералогических наук
А.А. Шинкарев – младший научный сотрудник
Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ БЕТОНА ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ ПРОПИТОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ

АННОТАЦИЯ
Рассмотрена проблема водонепроницаемости бетона. Проведен сравнительный анализ гидроизоляционных составов проникающего действия. Проведен рентгенографический анализ гидроизоляционных смесей, определен химический состав. Определены кинетики усадок цементно-песчаного раствора и гидроизолирующего слоя.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водонепроницаемость бетона после обработки гидроизоляционными пропиточными системами.

L.I. Nasriyeva – post-graduate student
V.S. Izotov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering
T.Z. Lygina – doctor of geology-mineralogical sciences
A.A. Shinkarev – junior research assistant
Central Research Institute of Geology of Non-Metallic Minerals

WATER RESISTANCE OF CONCRETE AFTER PROCESSING WATERPROOFING PENETRATING SYSTEMS

ABSTRACT
The problem of water resistance of concrete is considered. The comparative analysis of waterproofing structures of getting action is carried out. The radiographic analysis of waterproofing mixes is carried out, the chemical compound is defined. Are defined shrinkage kinetics the cement-sandy solution and hydroisolating layer.
KEYWORDS: waterproofing, water resistance, chemical compound, shrinkage, concrete.

Многие здания и сооружения подвержены воздействию влаги. Намокание ограждающих конструкций происходит в результате попадания влаги на стены здания в виде осадков, с грунтовыми водами, а также в результате конденсации влаги в материале стены из-за разницы температур снаружи и внутри зданий при эксплуатации. Вследствие этого происходит преждевременное разрушение железобетонных конструкций, снижаются их теплоизоляционные свойства, нарушается микроклимат в помещении [1].

Одним из основных факторов, уменьшающих срок службы зданий и сооружений, является воздействие на подземную часть здания грунтовых вод. Чаще всего это связано с нарушением или полным отсутствием гидроизоляции подземных конструкций [2].

Большинство фундаментов, используемых в строительстве, имеют стыки или рабочие швы, через которые при отсутствии надежной гидроизоляции наблюдается просачивание воды. Кроме того, влага проникает в поры и, замерзая зимой, расширяется и разрушает материал основания на глубину своего проникновения. В этом одна из причин порчи фундаментов и других конструктивных элементов, не обработанных гидроизолирующими материалами или не укрытых на зиму [3].

Существует ряд способов защиты зданий и сооружений от разрушающего воздействия влаги. Наиболее распространенными в настоящее время являются гидроизоляция конструкций и снижение влагопоглощения материалов конструкции за счет гидрофобизации. Гидроизоляция – это защита от влаги, выполненная во избежание разрушения строительной конструкции. Наиболее

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

распространенными способами гидроизоляции сооружений являются:

- ограждение зданий дренажами и завесами,
- механические способы гидроизоляции,
- физико-химические способы гидроизоляции.

В последние годы на рынке гидроизоляционных материалов все более широкое распространение получают материалы проникающего действия. Проникающую гидроизоляцию относят к механическим способам. Эти материалы используются при ремонте бетонных и железобетонных конструкций. Материалы состоят из цемента, наполнителей и сбалансированной смеси химически активных компонентов, в основном солей щелочных и щелочноземельных металлов [4]. При кажущейся простоте технологии производства и нанесения этих материалов их можно отнести к наукоемким за счет сложности физико-химических процессов и механизмов работы этих материалов. Недостатком таких материалов можно считать то, что они не обладают эластичностью, это жесткая гидроизоляция. Работать такими материалами можно по поверхностям с раскрытием трещин не более 0,3 мм. Проникающая гидроизоляция защищает конструкции от воды и агрессивных сред (бензина, масел, нефтепродуктов), сохраняя при этом паропроницаемость. Глубина гидроизоляционной пропитки может достигать нескольких сантиметров. Проникающая гидроизоляция может использоваться как на старом, так и на новом бетоне, обеспечивая защиту не только самого бетона, но и стальной арматуры [5].

Рынок сегодня предлагает огромное количество как российских, так и импортных гидроизоляционных материалов: «Пенетрон» (США), «Ксайпекс» (Канада), «Drizoro» (Италия), «Aquafin-1C» (Германия), «Гидротэкс» (Россия), «Стромикс» (Россия), «Антигидрон» (Россия), «Кристаллизол» (Россия).

В работе исследовались различные гидроизоляционные материалы, однако основное внимание было уделено гидроизоляционным пропиточным системам «Пенетрон» и «Антигидрон». Обработка бетона пропитывающими материалами системы «Пенетрон» и «Антигидрон» не влияет на его прочностные характеристики. За счет заполнения пор бетона проникающей гидроизоляцией увеличивается водонепроницаемость образцов.

Исследования на водонепроницаемость проводились в соответствии с нормативной документацией [6] в лабораторных условиях завода ЖБК-2, г. Казань. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Водонепроницаемость бетонных образцов, обработанных сухими строительными смесями проникающего действия

№ серии	Возраст бетона, дни	№ образца	Пропитывающий состав	Средние значения показателя водонепроницаемости образцов бетона	
				контрольный	опытный
1	86	1.1	Пенетрон	W6	W14
		1.2		W6	W16
		1.3		W6	W16
		1.4		W6	W16
2	84	2.1	Антигидрон 1	W6	W16
		2.2		W6	W16
		2.3		W6	W18
		2.4		W6	W16
2	78	3.1	Антигидрон 3	W6	W10
		3.2		W6	W10
		3.3		W6	W12
		3.4		W6	W10

Гидроизоляционная система «Пенетрон» проникающего действия представляет собой сухую смесь неорганических и органических компонентов неизвестного химического состава. Поэтому в своей работе мы предприняли попытку установить его химический состав.

Для установления химического состава данной гидроизоляционной системы был проведен

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

рентгенографический фазовый и количественный анализ. После получения рентгенограммы данной смеси (рис. 1) была поставлена задача разделения ее на фракции сухим просеиванием через набор сит, для более точной идентификации тех минеральных фаз, отражения которых диагностируются при регистрации рентгеновской картины от общей пробы. Это происходит либо в силу низкого содержания этих фаз, либо в силу наложения рефлексов от разных кристаллических фаз, но имеющих близкие межплоскостные расстояния в структуре. По результатам рентгенографического анализа составлена таблица количественного фазового анализа минеральных фаз различных фракций (табл. 2).

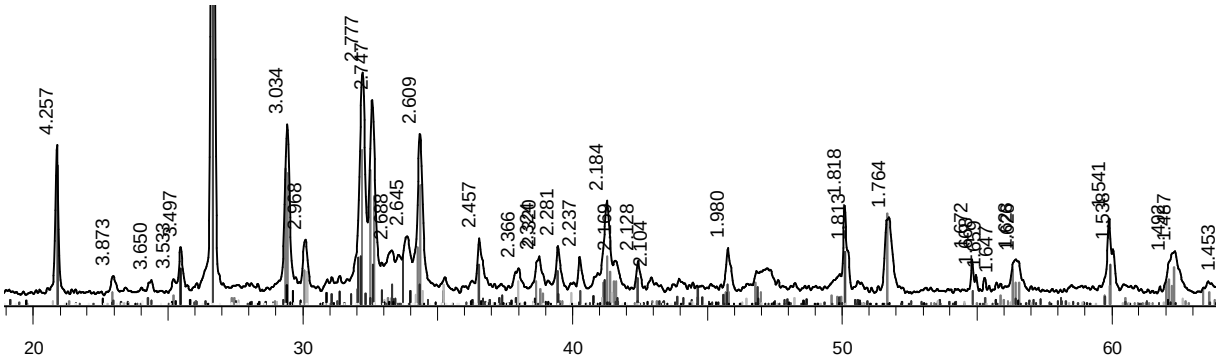


Рис. 1. Рентгенограмма сухой гидроизоляционной системы «Пенетрон»

Таблица 2

Количественный рентгеновский анализ минеральных фаз сухой смеси «Пенетрон»

№	Размер ячеек сита, мм	Масса фракции, г	Фазовый состав
1	> 0,5	2,05	SiO_2 – 50 %
			Na_2CO_3 – 42 %
			$C_6H_8O_7$ – 3 %
			Ca_3SiO_5 – 2 %
			$Na_2CO_3*H_2O$ – 2 %
			$CaSO_4$ – 1 %
			Рентгеноаморфное вещество < 1 %
2	0,5-0,25	23,5	SiO_2 – 47 %
			Na_2CO_3 – 39 %
			$C_6H_8O_7$ – 10 %
			Ca_3SiO_5 – 3 %
			$CaSO_4$ – 1 %
			$Na_2CO_3*H_2O$ – примесь
			Рентгеноаморфное вещество – < 1 %
3	0,25-0,2	8,75	SiO_2 – 63 %
			Na_2CO_3 – 26 %
			$C_6H_8O_7$ – 5 %
			Ca_3SiO_5 – 5 %
			$CaSO_4$ – 1 %
			Рентгеноаморфное вещество – < 1 %
4	0,2-0,1	12,86	Fe_3O_4 (фракция выделена магнитом)
			Fe (металлическое)
			SiO_2 – 56 %
			Na_2CO_3 – 35 %
			Ca_3SiO_5 (алит) – 6 %
			$C_6H_8O_7$ – 2 %
			$CaSO_4$ – 1 %
			Ca_2SiO_4(белит) – примесь
			$Ca_2(Al,Fe)_2O_5$ (браунмиллерит) – примесь
			Fe_3O_4 – примесь
			Fe (металлическое) – примесь
			Рентгеноаморфное вещество – < 1 %

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(Продолжение таблицы 2)

5	< 0,1	87,8	Ca_3SiO_5 (алит) – 50 %
			Ca_2SiO_4 (белит) – 21 %
			$Ca_2(Al,Fe)_2O_5$ (браунмиллерит) – 14 %
			SiO_2 – 8 %
			$CaSO_4$ – 4 %
			$C_6H_8O_7$ – 3 %
			Na_2CO_3 – 1 %
			$CaSO_4*_2H_2O$ (гипс) – примесь
			Na-Полевые шпаты – примесь
			Глинистые минералы (слюда, смектит) – примесь
			Рентгеноаморфное вещество < 1 %

Далее для сравнения приведены процентные соотношения между минеральными фазами пробы, полученные непосредственно из расчетов по дифракционной картине от общей пробы и процентные соотношения, полученные на основании данных по массе отдельных фракций (табл. 3). Следует отметить, что содержание минеральных фаз рассчитывалось на 100 % без учета аморфной составляющей пробы.

Таблица 3

Сравнение процентных соотношений расчетов минеральных фаз

Наименование фазы	Расчет по дифракционной картине, %	Расчет по массе отдельных фракций, %
Ca_3SiO_5 (алит)	44	33
SiO_2 (кварц)	22	24
Ca_2SiO_4 (белит)	10	14
Na_2CO_3 (сода)	10	13
$Ca_2(Al,Fe)_2O_5$ (браунмиллерит)	8	9
$C_6H_8O_7$ (лимонная кислота)	3	4
$CaSO_4$ (ангдрит)	5	3
Рентгеноаморфное вещество	< 1 %	< 1 %
$Na_2CO_3*H_2O$ (термонатрит)	< 1 %	< 1 %
Fe_3O_4 (оксид железа)	< 1 %	< 1 %
Na (полевые шпаты)	< 1 %	< 1 %
$CaSO_4*_2H_2O$ (гипс)	< 1 %	< 1 %

Как видно из таблиц 2 и 3, компоненты смеси идентичны веществам, содержащимся в портландцементе, но их концентрации различны.

В результате обработки поверхности бетона концентрации кристаллических фаз в пропитывающем составе и в бетоне выравниваются. За счет этого обеспечивается заполнение капиллярных пор и прекращается движение воды в теле бетона, тем самым повышается его плотность и соответственно – водонепроницаемость.

Однако, по истечении 6 месяцев, после определения водонепроницаемости образцов, обработанных гидроизоляционными смесями проникающего действия систем «Пенетрон», «Антигидрон 1» и «Антигидрон 3», на поверхностях гидроизолирующих слоев систем «Пенетрон» и «Антигидрон 3» были обнаружены трещины (рис. 2). Данные трещины свидетельствуют о большой усадке гидроизоляционных материалов проникающего типа. Поэтому были проведены исследования по определению величины усадки гидроизоляционного материала системы «Пенетрон». Испытания на усадку проводились в лабораторных условиях при помощи автономного регистратора процесса усадки «Автограф».

Ввиду длительности процесса усадки и с целью его ускорения образцы помещались в сушильный шкаф и выдерживали первые двое суток при комнатной температуре (20 град.) для предотвращения преждевременного высыхания образцов, а в последующие сутки температура увеличивалась на 10 єС, при одновременном контроле изменения массы образца.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 2. Образцы, обработанные гидроизоляционными материалами проникающего типа:
а – «Пенетрон», б – «Антигидрон 1», в – «Антигидрон 3»

Для данного эксперимента были изготовлены 3 образца из цементно-песчаного раствора размерами 4х4х16 см с водоцементным отношением 0,4. После пропаривания на верхнюю поверхность образцов размерами 4х16 см наносился слой гидроизоляционного материала толщиной 4 мм системы «Пенетрон», на который устанавливался автономный регистратор процесса усадки «Автограф», для измерения усадки непосредственно гидроизоляционного материала, а процесс усадки самих образцов из цементно-песчаного раствора измерялся при помощи индикатора часового типа. Эксперимент проводился в сушильном шкафу. Первые двое суток образцы выдерживались при 20 єС, а последующие сутки прибавлялось по 10 єС, наряду с данным процессом также контролировалось изменение массы образцов и процесс усадки образцов из цементно-песчаного раствора (табл. 4).

Таблица 4

Изменение температуры, усадки, массы образца в процессе эксперимента

Сутки	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура	20	20	30	40	50	60	70	80
Усадка, мм/м	0	0	0	0,1075	0,6875	0,8125	1,0625	1,4375
Изменение массы, %	0	-6,25	-11,93	-14,77	-15,91	-15,91	-15,91	-15,91

Кинетика усадочных деформаций образцов из цементно-песчаного раствора, обработанных гидроизоляционным составом, и самого гидроизоляционного слоя приведена на рис. 3 (из 3 образцов определялась средняя величина).

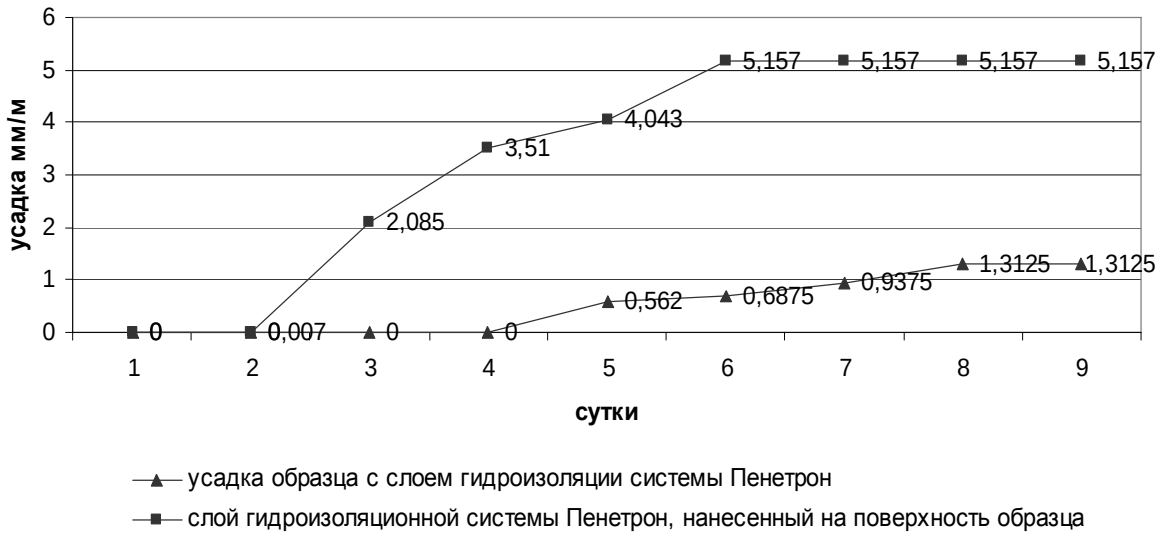


Рис. 3. Кинетика усадочных деформаций цементно-песчаного раствора, обработанного гидроизоляционным составом системы «Пенетрон», и самого гидроизоляционного слоя системы «Пенетрон»

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Также был проведен эксперимент на определение усадки непосредственно самого гидроизоляционного материала системы «Пенетрон». Для этого на стекло, предварительно смазанное машинным маслом, наносился гидроизоляционный материал толщиной 4 мм и устанавливался автономный регистратор процесса усадки «Автограф». Эксперимент проводился в сушильном шкафу. Первые двое суток образцы выдерживались при комнатной температуре (20 єС), а в течение 6 последующих суток температура увеличивалась на 10 єС/сут. (табл. 4). Результат эксперимента приведен на рис. 4.

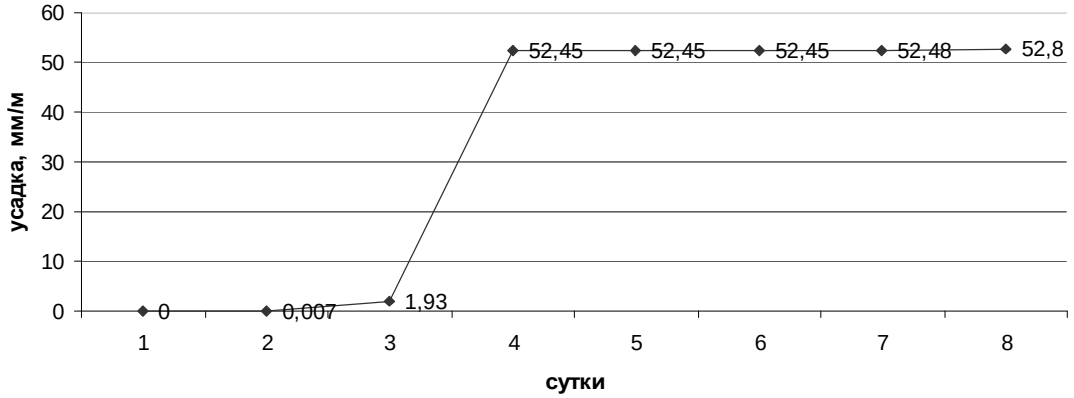


Рис. 4. Процесс усадки гидроизоляционной смеси «Пенетрон»

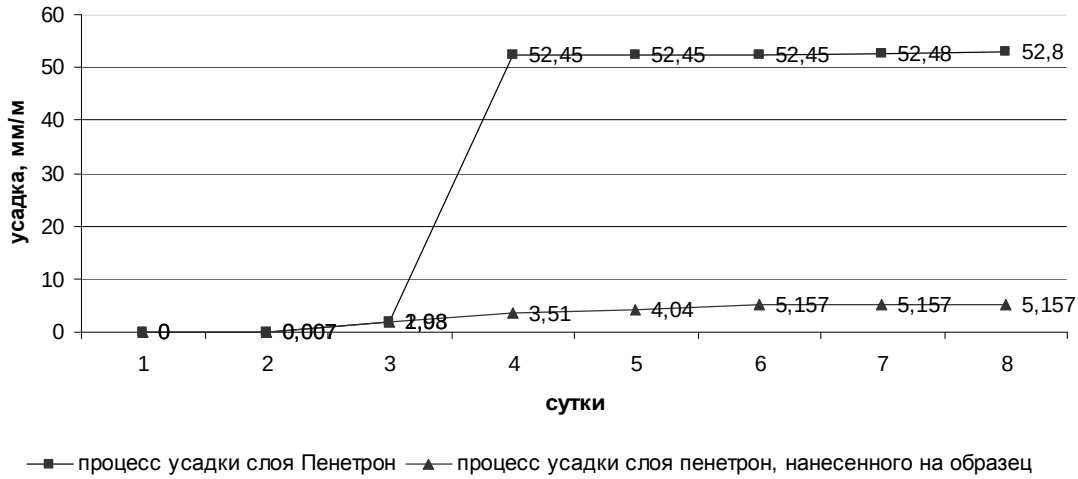


Рис. 5. Кинетика усадки слоя смеси гидроизоляционной системы «Пенетрон»

Несмотря на то, что минералогический состав гидроизоляционной смеси системы «Пенетрон» идентичен цементу, усадка растворного образца и гидроизоляционного слоя сильно отличаются. Однако, при нанесении гидроизоляционного слоя на поверхность бетона смесь дает меньшую усадку, чем на стекле (рис. 5). Эта разница говорит о сильной адгезии гидроизоляционного материала с поверхностью бетона. Из рис. 3 видно, что в первые двое суток скорость усадки пропиточной системы и растворного образца изначально не имеют различий. Однако в последующие сутки, при повышении температуры на 10 єС /сут., становится очевидным, что скорость усадки гидроизоляционного материала значительно превосходит скорость усадки раствора, что является причиной дальнейшего возникновения трещин на поверхности гидроизоляционного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савилова Г.Н. Гидроизоляция зданий и сооружений // Строительные материалы, 2003, № 7. – С. 32-34.
2. Латышева Л.Ю., Смирнов С.В. Как защититься от воды и сырости? // Строительные материалы, 2003, № 8. – С. 24-28.
3. Синявский В.В. Материалы для гидроизоляции и гидрофобизации сооружений // Строительные материалы, 2003, № 5. – С. 22-25.
4. Козлов В.В., Чумаченко А.Н. Гидроизоляция в современном строительстве: Учебное пособие. – М., 2003 – 120 с.
5. Принцип действия материалов Пенетрон // PENETRON.RU: ежедн. интернет-изд. 2007. 21 сент. URL: http://www.penetron.ru/text/224.html (дата обращения: 14.12.2008).
6. ГОСТ 12730. 5-84. Методы определения водонепроницаемости. – М., 1994. – 12 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 666.973.2-666.64-492.3
И.В. Недосеко – доктор архитектуры, профессор
В.В. Бабков – доктор архитектуры, профессор
Р.Р. Алиев – инженер
E-mail: nedoseko1964@mail.ru
Уфимский государственный нефтяной технический университет
В.В. Кузьмин – кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены технические аспекты применения крупнопористого керамзитобетона в конструкциях наружных стен и мансардных кровель. Показано его преимущество перед традиционными минераловатными и органическими утеплителями, как более долговечного и огнестойкого материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конструкционно-теплоизоляционный керамзитобетон, мансарда, сопротивление теплопередаче, реконструкция, несъемная опалубка.

I.V. Nedoseko – doctor of technical sciences, professor
V.V. Babkov – doctor of architecture, professor
R.R. Aliev – engineer
Ufa State Petroleum Technological University
V.V. Kuzmin – candidate of technical sciences, associate professor
Samara State University of Architecture and Engineering

APPLICATION OF CONSTRUCTIONAL THERMAL PROTECTION EXPANDED-CLAY CONCRETE AT BUILDING AND RECONSTRUCTION OF INHABITED AND CIVIL BUILDINGS

ABSTRACT

The technical aspects of the use of macro-porous expanded-clay concrete in external wall and mansard roofing are considered. Its advantages over the traditional mineral wool and organic lagging as a more durable and fire-resistant material.

KEYWORDS: structural-insulation claydite, mansard, resistance to heat transfer, reconstruction, fixed formwork.

Известно, что решение жилищной проблемы в Российской Федерации невозможно без существенного расширения масштабов строительства объектов малой и средней этажности, поэтому практически всеми на региональном уровне были приняты собственные программы малоэтажного строительства. Однако реализация намеченных планов тормозится дороговизной и нехваткой основных строительных материалов (кирпича, цемента и др). Решение данной проблемы за счет увеличения потребления импортных строительных материалов, изделий и комплектующих (например, панели на минераловатной или пенополистирольной основе) также не представляется возможным, прежде всего, по экономическим соображениям. Практика показывает, что строительство одного квадратного метра коттеджа в полносборном исполнении составляет 15-20 тыс. руб., что в 1,5-2 раза превышает стоимость аналога в кирпичном исполнении. Поэтому, даже существенное сокращение сроков строительства не всегда может служить определяющим фактором при выборе используемых материалов и технологий возведения здания.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

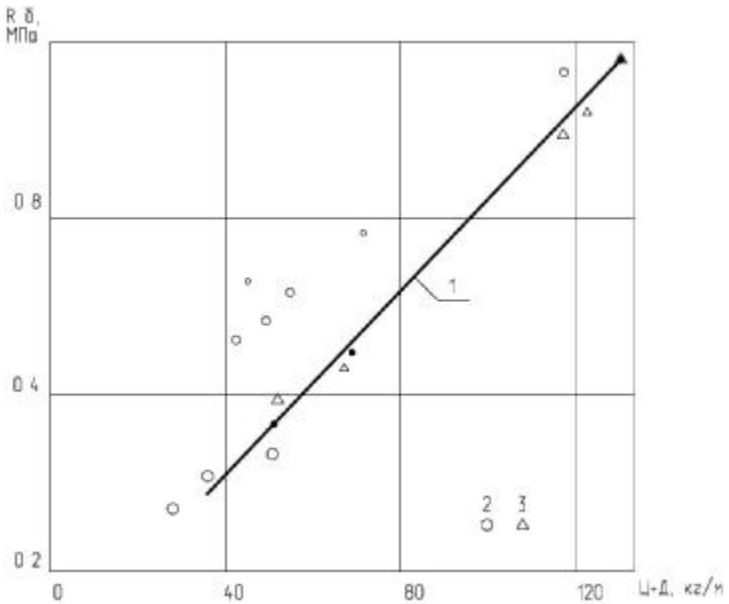


Рис. 1. Зависимость прочности крупнопористого керамзитобетона от расхода цемента: 1 – без добавок; 2 – с добавкой пиритных огарков; 3 – цементной пыли

Рис. 2. Главный фасад двухэтажного жилого дома с цокольным этажом, наружные стены из керамзитобетонных блоков с кирпичной облицовкой
(п. Кармаскалы, ул. Ленина, 39 Б)

а)

б)

Рис. 3. Реконструкция одноэтажного здания Уфимского филиала РГСУ с надстройкой двух дополнительных этажей, в качестве стенового ограждения использован прокатный профнастил (наружный слой) с заполнением внутреннего слоя крупнопористым керамзитобетоном:
а) вид здания до реконструкции; б) вид здания после реконструкции

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Рис. 4. Коттедж в п. Михайловка Уфимского района с наружными стенами, выполненными в колодцевой кладке и внутренним слоем из крупнопористого керамзитобетона

а)

б)

Рис. 5. Главный (а) и дворовой (б) фасады коттеджа в г. Белебей с мансардой, а также наружными стенами, выполненными в колодцевой кладке с применением крупнопористого керамзитобетона

Рис. 6. Наружная стена коттеджа в г. Белебей, выполненная в колодцевой кладке с внутренним слоем из крупнопористого керамзитобетона в стадии строительства

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

а) б)

Рис. 7. Этапы возведения мансарды (а – начальный, б – завершающий) коттеджа в г. Белебей. Несъемная опалубка выполнена из гипсокартона, внутреннее заполнение крупнопористым керамзитобетоном

а) б)

Рис. 8. Помещения жилой комнаты (а) и санузла (б) мансарды из крупнопористого керамзитобетона (коттедж г. Белебей) в стадии эксплуатации

В последние годы значительно возрос интерес к традиционным стеновым материалам, прежде всего, таким как: облицовочный и эффективный (высокопустотный) керамический кирпич, керамзитобетонным блокам, а также стеновым и перегородочным гипсобетонным изделиям [1-3]. Значительное сокращение выпуска керамзита, а также изделий на его основе, как показала практика, было неоправданным. В Республике Башкортостан в последние годы имеется положительный опыт производства и применения керамзитобетона (в том числе и конструкционно-теплоизоляционного, к которому предъявляются минимальные требования по несущей способности) для наружных несущих стен зданий, а также конструкций мансардных ограждений.

Важным преимуществом крупнопористого керамзитобетона является невысокий расход цемента (100-150 кг/м^3), однако широкую перспективу для повышения экономичности данных бетонов открывает также применение крупнотоннажных дисперсных отходов химических и металлургических отраслей промышленности (пиритный огарок, цементная пыль систем аспирации, феррохромовый шлак и др.), позволяющее значительно (до 2 раз и более) снизить расход цемента в составе керамзитобетона. В качестве дисперсных минеральных наполнителей в исследованиях использовались пиритные огарки – крупнотоннажный минеральный отход переработки серного колчедана (пирита) в серную кислоту ОАО «Минудобрения» (г. Мелеуз), цементная пыль (отход систем аспирации электрофильтров цементного производства) ОАО «Сода» и керамзитовая пыль – отход производства керамзитового гравия Шакшинского завода.

Исходя из расчета прочности крупнопористого керамзитобетона, можно было ожидать, что в нем будут эффективны добавки наполнителя, увеличивающие объем цементного теста. Это

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

подтвердилось в опытах (рис. 1) при использовании в качестве дисперсных минеральных добавок пиритных огарков, а также цементной и керамзитовой пыли. Добавки предварительно смешивали с портландцементом марки 500 в пропорциях, соответствующих замене добавками 25, 33 и 50 % портландцемента. Результаты экспериментов показали, что, несмотря на значительное уменьшение содержания цемента, прочность крупнопористого керамзитобетона с добавками наполнителя почти не снизилась, а в некоторых случаях даже возросла. Это объясняется тем, что некоторые добавки легче портландцемента, поэтому при том же содержании в бетоне цементного теста по массе его оказывается больше по объему. В результате оказывается возможным при замене одной трети портландцемента добавкой сохранить или даже увеличить прочность крупнопористого керамзитобетона приблизительно на 10-20 %.

В пос. Кармаскалы была построена серия двухэтажных жилых домов с наружными стенами из мелкоштучных вибропрессованных керамзитобетонных блоков (390х190х190 мм) (рис. 2). При требуемой для этих целей несущей способности (конструкционно-теплоизоляционный керамзитобетон классов В3.5-В5), средняя плотность блоков с учетом пустот составляла 550-800 кг/м^3, что позволило при толщине наружной стены в 52 см (керамзитобетонный блок с облицовкой 0.5 кирпича) достичь термосопротивления, превышающего в 1.5-1.7 раза показатели монослойной кирпичной стены стандартной толщины (64 см – 2.5 кирпича). Расчеты показывают [4], что несущей способности таких стен вполне достаточно для восприятия нагрузки от мансарды, возводимой в уровне третьего этажа, что позволит в 1.5 раза увеличить жилую площадь и одновременно улучшить архитектурно-художественный облик здания.

Интересен также опыт применения монолитного крупнопористого керамзитобетона при надстройке двухэтажной мансарды арочного очертания, проводимой в рамках реконструкции здания Уфимского филиала Российского государственного социального университета (рис. 3), позволившей увеличить полезную площадь здания более чем в 2.5 раза (с 600 до 1600 м^2) [5]. В конструктивном плане мансарда данного здания представляет собой бескаркасный арочник, выполненный из прокатного профнастила с заполнением внутреннего пространства самонесущих наружных стен крупнопористым керамзитобетоном. Это позволило не только снизить стоимость мансарды, но и существенно повысить несущую способность и пространственную жесткость данной арочной конструкции, в которой оцинкованные профилированные листы криволинейного очертания на стадии возведения выполняют роль несъемной опалубки, а на стадии эксплуатации внешней обшивки – для защиты от атмосферных воздействий. Имеется также положительный опыт возведения наружных стен, фронтонов и мансард при строительстве индивидуальных домов коттеджного типа в г. Белебей (РБ) и поселках Михайловка и Чесноковка Уфимского района (рис. 4-8). Конструкция наружных стен данных зданий представляет собой колодцевую кладку с толщиной несущего и облицовочного слоев по 120 мм (0.5 кирпича), в пространство (260 мм) между которыми укладывался крупнопористый керамзитобетон, приготовленный вручную, без использования бетоносмесительных механизмов. Технология его приготовления достаточно проста: керамзитовый гравий насухо смешивался с цементом (пропорция 6:1-8:1), затем добавлялась вода, и после вторичного кратковременного перемешивания смесь укладывалась во внутреннее пространство стен без уплотнения. При этом наружные несущие стены выдерживали вес межэтажного и чердачного железобетонных монолитных или сборных перекрытий. В настоящее время эти жилые дома успешно эксплуатируются, причем расходы на отопление в зимний период существенно ниже, чем в кирпичных коттеджах. Например, в наиболее холодный месяц зимы 2009-2010 гг., когда температура наружного воздуха в г. Белебее опускалась ниже -35-40 ^{0}С, суммарные расходы на отопление и горячее водоснабжение в рассматриваемом коттедже составили менее 1800 руб./мес. при величине отапливаемой площади более 250 м^2 (цокольный этаж, первый этаж, мансарда).

Поэтому, на наш взгляд, применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона низких и средних марок и различной структуры (как вибропрессованного, так и крупнопористого) может оказаться весьма эффективным и целесообразным по технологическим и экономическим соображениям, тем более что долговечность и эксплуатационная надежность керамзитобетона подтверждена не только результатами всесторонних исследований ведущих институтов (НИИ «Керамзит», МГСУ), но и многолетней практикой строительства с 50-х годов до настоящего времени.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1974. – 287 с.
2. Ицкович С.М., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. – М.: Высшая школа, 1989. – 310 с.
3. Баженов Ю.М., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. и др. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий (структурообразование, технология, расчет и конструирование). Уч. пос. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 252 с.
4. Галиакберов Р.Р., Алиев Р.Р., Недосеко И.В. Использование крупнопористого керамзитобетона в ограждающих конструкциях мансардных этажей. – М.: Строительные материалы – архитектура, 2006, № 7. – С. 8-10.
5. Недосеко И.В., Бабков В.В., Алиев Р.Р., Кузьмин В.В. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в малоэтажном строительстве. – М.: Жилищное строительство, 2008, № 3. – С. 26-28.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.328
Д.Г. Сагдатуллин – инженер
Н.Н. Морозова – кандидат технических наук, доцент
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор
И.Р. Сабиров – студент
E-mail: dinar-207@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КАМНЯ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

АННОТАЦИЯ

Исследована долговечность высокопрочного композиционного гипсового камня (ВКГВ) при 180-суточном твердении в воде и при циклическом увлажнении-высушивании. Исследованы деформационные, прочностные характеристики и пористость камня на ВКГВ с бинарной активной минеральной добавкой. Установлена его высокая стабильность и долговечность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: долговечность, собственные деформации, композиционное гипсовое вяжущее, бинарная активная минеральная добавка.

D.G. Sagdatullin – engineer
N.N. Morozova – candidate of technical sciences, associate professor
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor
I.R. Sabirov – student
Kazan State University of Architecture and Engineering

DURABILITY OF THE STONE FROM THE HIGH-STRENGTH COMPOSITE GYPSOUS BINDING AGENT

ABSTRACT

The durability of a high-strength composite gypsums binding agent (CGBA) is investigated at 180-daily allowances твердении in water and at cyclic humidifying-drying. Are investigated deformation, прочностные characteristics and porosity of a stone on CGBA with the binary active mineral additive. Its high stability and durability is established.

KEYWORDS: durability, own deformations, composite gypsums binding agent, the binary active mineral additive.

Долговечность является важнейшим показателем надежности изделий и конструкций, характеристикой их способности к длительной эксплуатации. Часто первопричинами повреждений изделий и конструкций являются коррозионные процессы, развивающиеся в материалах из-за неблагоприятного воздействия внешней среды [1]. К таковым можно отнести сульфоалюминатное разрушение в гипсоцементнопуццолановых системах, которое интенсифицируется при повышении влажности среды более 65-70 % [2]. При прогнозировании работоспособности материала в конструкциях и обосновании оценки долговечности должны быть учтены: деформации расширения – усадки материалов в водонасыщенном состоянии, стойкость к знакопеременным температурам и к циклическому увлажнению – высушиванию [3, 4].

Поэтому в работе исследованы деформационные и прочностные свойства камня из высокопрочного композиционного гипсового вяжущего (ВКГВ), твердеющего длительное время в воде, а также его морозостойкость. Результаты приведены в табл. 1 и на рис. 1-2.

ВКГВ изготовлено из гипса марки Г-6, Вольского портландцемента ПЦ500Д0, бинарной активной минеральной добавки (БАМД), состоящей из смеси микрокремнезема марки МК-85 и термоактивированного порошка цеолитсодержащей породы (ЦСП-т) и комплексной химической добавки, количество которой вводили из условия наибольшего водоредуцирующего эффекта [5]. Содержание полуводного гипса составляло 55 % от общей массы вяжущего. Физико-механические

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

свойства ВКГВ (табл. 1) определяли на образцах размером 20х20х20 мм, изготовленных из теста с расплывом 180ч200 мм по Суттарду и твердевших в течение 7 сут. в нормально-влажностных условиях. Для сравнения испытаны составы с однокомпонентными АМД (МК и ЦСП-т).

Таблица 1

Основные свойства ВКГВ

№ состава	Вид и количество АМД, %		В/Т	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		Коэффициент размягчения	Попеременное увлажнение и высушивание, циклы	Марка по морозостойкости
	ЦСП-т	МК		7 сут., высушенных до постоянной массы	6 мес., твердеющих в воде			
1	100	-	0,240	51,6	60,3	0,86	40	F 75
2	75	25	0,229	44,1	69,6	0,96	40	F 150
3	50	50	0,232	47,2	72,8	0,98	30	F 200
4	25	75	0,235	48,0	75,2	0,98	30	F 200
5	-	100	0,215	54,8	68,5	0,94	30	F 200

Все составы ВКГВ (табл. 1, рис. 1) в начальные сроки интенсивно твердеют и на 28 сут. имеют прочность не менее 50 МПа. Прочность ВКГВ тем выше, чем больше в нем МК. Однако, на 50-е сутки и последующие сроки твердения наблюдается наибольший прирост прочности ВКГВ, в состав которых введены бинарные АМД. Максимальные значения прочности при этом составили 70ч75 МПа. Составы с бинарной АМД характеризуются высоким коэффициентом размягчения. При этом оценку собственных деформаций ВКГВ, твердеющих в воде, проводили на образцах размером 20х20х250 мм, на торцы которых были приклеены стальные шарики – репера.

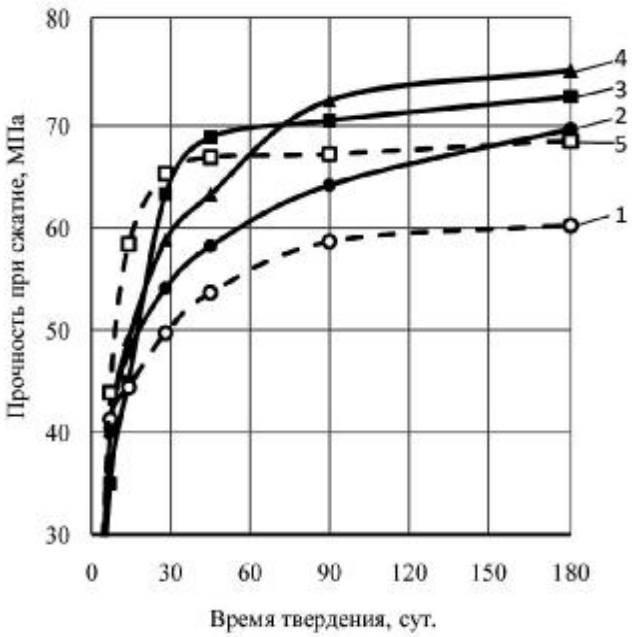


Рис. 1. Кинетика прочности КГ-камня, твердеющего в воде: цифры у кривых соответствуют составам табл. 1

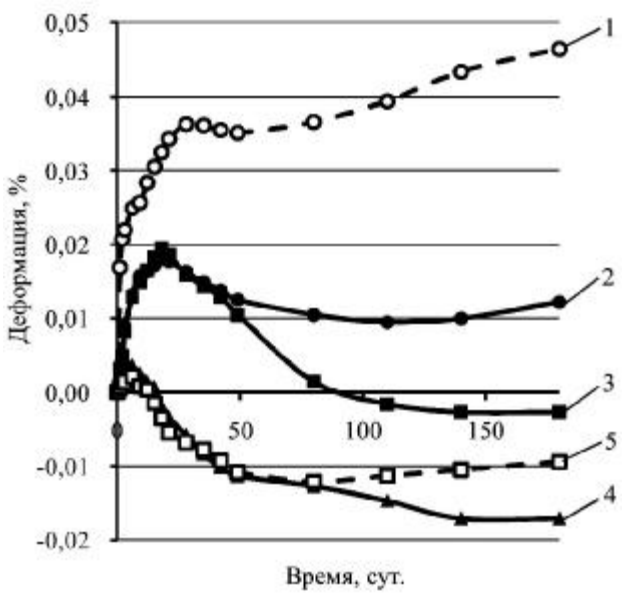


Рис. 2. Кинетика собственных деформаций КГ-камня водного хранения: цифры у кривых соответствуют составам табл. 1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Анализ показывает (рис. 2), что собственные деформации образцов незначительные и наименьшими значениями характеризуются составы ВКГВ на бинарных АМД. В составах на бинарных АМД, где доля ЦСП-т составляет 50 % и более, вначале наблюдается незначительное расширение образцов до 0,02 %, а затем усадка.

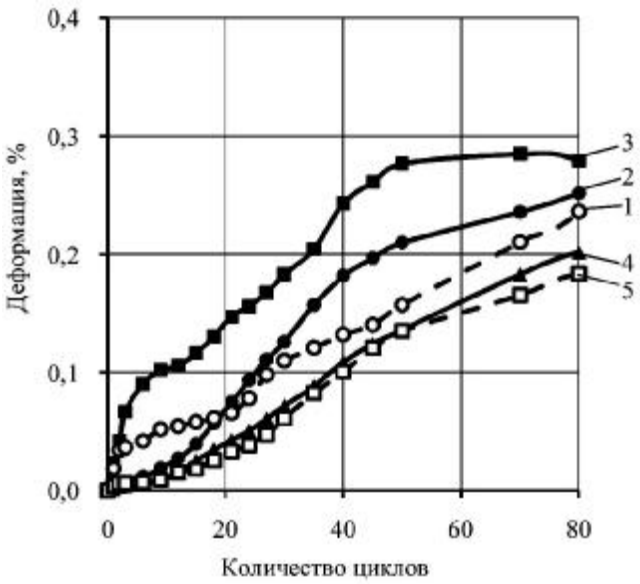


Рис. 3. Кинетика собственных деформаций КГ-камня при попеременном высушивании и увлажнении: цифры у кривых соответствуют составам табл. 1

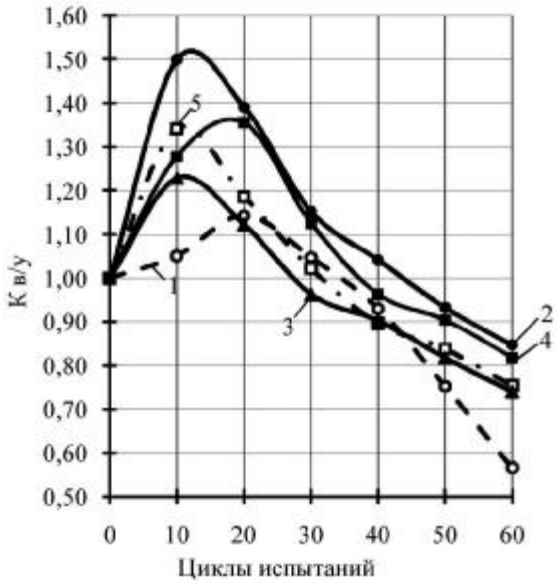


Рис. 4. Кинетика изменения стойкости КГ-камня от циклических воздействий водонасыщения-высушивания: цифры у кривых соответствуют составам табл. 1

Процесс линейного расширения образцов возрастает при испытаниях на попеременное водонасыщение и высушивание (рис. 3), достигая 0,35 %, что в 10 раз выше тех же составов при водных условиях твердения. Следует отметить, что даже при такой жесткой модели агрессии, как циклическое водонасыщение и высушивание, композиционный гипсовый камень (КГ-камень) из ВКГВ имеет меньшие значения линейного расширения, чем предельно допустимое 0,4 % [6].

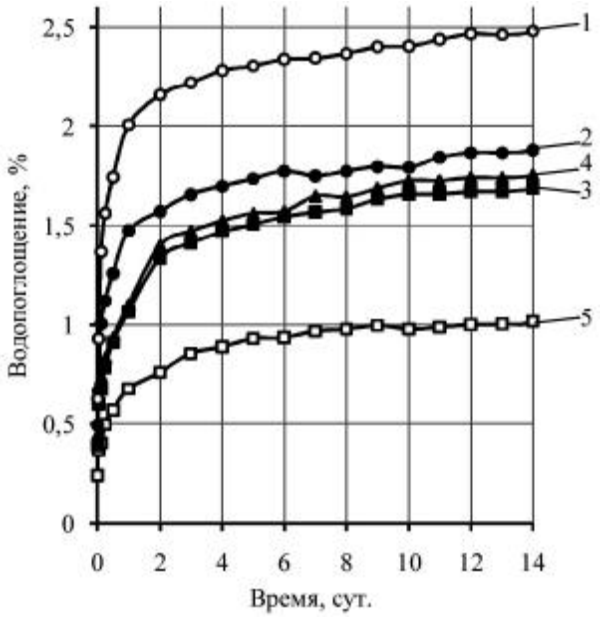


Рис. 5. Кинетика водопоглощения КГ-камня: номера кривых соответствуют составам табл. 1

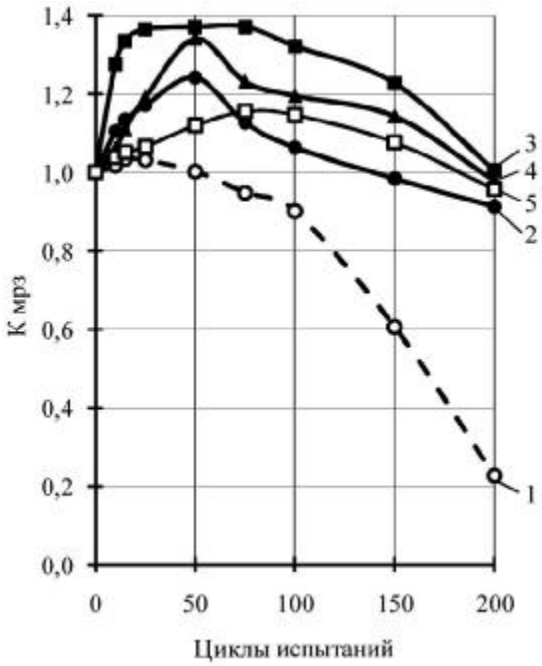


Рис. 6. Кинетика изменения стойкости КГ-камня от циклических воздействий замораживания-оттаивания: цифры у кривых соответствуют составам табл. 1

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Стойкость образцов из КГ-камень, подвергнутых циклическим воздействиям – увлажнению-высушиванию, оценивалась по изменению прочности, снижение которой не должно превышать 10 % от прочности контрольных образцов (не подвергнутых испытаниям).

Анализ результатов (рис. 4 и 6) показывает, что до 20 циклов попеременного увлажнения-высушивания наблюдается рост прочности, к 40 циклам – прочность сравнима с первоначальными значениями, но на составе с МК появляются микротрещины.

По коэффициенту стойкости, по прочности к процессу циклического попеременного водонасыщения и увлажнения ($К_{в/у.}$), а также коэффициенту стойкости по морозостойкости ($К_{мрз}$), рассчитанных как отношение прочности соответствующего цикла испытания к прочности контрольного образца, можно выделить состав ВКГВ с БАМД при соотношении ЦСП-т к МК, равной 75 % к 25 % (состав 2), который имеет наиболее высокие его значения.

Анализ физико-механических свойств и сопоставление их с показателями собственных деформаций образцов на высокопрочном КГВ позволяют установить высокую стабильность структуры его камня, которая выражается в обеспечении устойчивости системы к знакопеременным воздействиям и циклическому увлажнению-высушиванию. Разработанные составы ВКГВ отвечают требованиям марки по морозостойкости F75, и с увеличением количества МК в бинарной АМД марка его увеличивается до F200, что, несомненно, свидетельствует о его долговечности, в отличие от гипсовых или традиционного ГЦПВ.

Определение строения порового пространства КГ-камня из ВКГВ на бинарных АМД проведено согласно методике ГОСТ 12730.3 и 12730.4 по кинетике водонасыщения образцов с размерами 70х70х70 мм. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Применение бинарной АМД для ВКГВ существенно изменяет поровую его структуру. С увеличением количества МК в бинарной АМД общая пористость, объем открытых капиллярных и условно-замкнутых пор уменьшается, а средняя плотность образцов возрастает.

Согласно данным [3, 7], поровая структура КГВ низкой водопотребности обладает более крупно пористой структурой КГ-камня, которая представлена общим объемом пор 25ч40 %; объемом открытых капиллярных пор – 9ч24 %; условно-замкнутыми порами – 13ч25 %, при В/Т от 0,33 до 0,4 и средней плотности образцов – 1500ч1700 кг/мі. В нашем случае, КГ-камень можно охарактеризовать как низкопористый с л < 0,35, но с неоднородным распределением пор по размерам (б < 0,3).

Таблица 2

Характеристика пористости КГ-камня

№ состава	Плотность в сухом состоянии, кг/мі	Водопоглощение по массе*, %	Общий объем пор, %	Объем открытых капиллярных пор, %	Объем открытых некапиллярных пор, %	Объем условно-замкнутых пор, %	Показатель среднего размера пор (л)	Показатель однородности распределения пор по размерам (б)	Показатель микро-пористости ($П_{мк}$)
1	1990	2,59	18,03	5,16	0,72	12,16	0,120	0,16	0,47
2	2010	1,98	17,95	3,95	0,67	13,33	0,167	0,17	0,47
3	2030	1,74	17,83	3,60	0,62	13,62	0,187	0,18	0,49
4	2080	1,81	16,25	3,8	0,56	11,89	0,184	0,19	0,46
5	2130	1,17	14,43	2,49	0,48	11,46	0,313	0,30	0,36

* – максимальное водонасыщение образцов после выдержки их в воде производили путем вакуумирования.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таким образом, ВКГВ обладает низкопористой и плотной структурой затвердевшего КГ-камня, что обуславливает его высокую прочность и долговечность. Применение бинарных АМД позволяет «улучшить» поровую структуру КГ-камня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 424 с.
2. Волженский А.В., Ферронская А.В. Деформации цементных и гипсоцементных растоворов в различных условиях твердения // Бетон и железобетон, 1962, № 2. – С. 549-553.
3. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
4. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. – М.: Стройиздат, 1971. – 317с.
5. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 263-268.
6. Волженский А.В., Ферронская А.В. Линейные деформации гипсоцементно-пуццолановых вяжущих на образцах плотной и ячеистой структуры // В кн.: Структура, прочность и деформации бетона. – М., 1966. – С. 218.
7. Коровяков В.Ф. Повышение эффективности гипсовых вяжущих и бетонов. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. д-ра техн. наук. – М., 2002. – 35 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.33

Р.А. Салахова – аспирант, научный сотрудник
В.Г. Ласточкин – аспирант, инженер
E-mail: renata.salakhova@gmail.com
Всероссийский научно-исследовательский институт строительных материалов и конструкций им. П.П. Будникова
А.М. Салахов – кандидат технических наук, консультант
ОАО «Алексеевская керамика»
Т.З. Лыгина – доктор геолого-минералогических наук, профессор
ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»
Е.С. Нефедьев – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ОПЫТ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ И СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ

АННОТАЦИЯ
В статье рассмотрены возможности модификации сырья и соответствующей модернизации производства с целью получения высококачественного кирпича, основываясь на опыт поколений.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: керамика, исторический опыт, модификация сырья, модернизация оборудования.

R.A. Salakhova – post-graduate student, staff scientist
V.G. Lastochkin – post-graduate student, engineer
The All-Russia Scientific Research Institute of Building Materials and Designs of P.P. Budnikova
A.M. Salakhov – candidate of technical sciences, adviser
Joint Stock Company «Alekseevsk ceramics»
T.Z. Lygina – doctor of geological minerals sciences, professor
The Central Scientific Research Institute of Geology of Industrial Minerals
E.S. Nefedyev – doctor of chemical sciences, professor
Kazan State Technical University of A.N. Tupolev

MANUFACTURE OF CERAMIC MATERIALS: EXPERIENCE OF PREVIOUS GENERATIONS AND MODERN WORKINGS OUT

ABSTRACT
In article possibilities of updating of raw materials and corresponding modernization of manufacture for the purpose of reception of a high-quality brick are considered (examined), being based on experience of generations.
KEYWORDS: ceramics, historical experience, raw materials updating, equipment modernization.

Принятая правительством России программа существенного увеличения объёмов жилищного строительства ставит задачу правильного выбора строительных материалов, сочетающих в себе высокие функциональные характеристики с требованиями экономичности. Благодаря уникальным сочетаниям эксплуатационных характеристик, объемы производства изделий строительной керамики неуклонно растут [1, 2]. Республика Татарстан богата традициями производства различных керамических материалов. На территории Алексеевского района находится населенный пункт Билярск, в X-XI веках это был процветающий город – столица достаточно крупного средневекового государства – Волжской Булгарии. Отличительной чертой этого средневекового государства являлось интенсивное развитие керамических ремесел. В местном музее демонстрируются керамические трубы для подачи горячей и холодной воды в общественные бани, города были обеспечены системой централизованного водоснабжения. Сотни метров керамических труб, несмотря на тысячелетний возраст, прекрасно сохранились.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Еще в XIX веке археологи и историки обратили внимание на своеобразные сосуды, благодаря своей форме получившие название сфероконусы. Отличительной характеристикой этих изделий является их поразительно высокая прочность, благодаря чему многие из них прекрасно сохранились.

Рис. 1. Сфероконусы. Музей в Билярске, Республика Татарстан

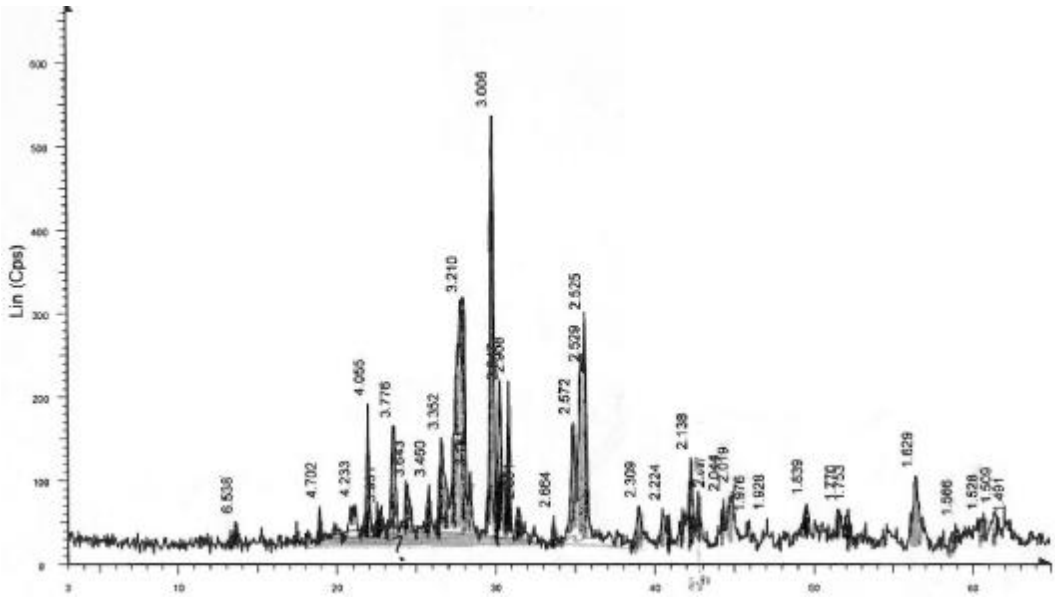


Рис. 2. Дифрактограмма сфероконуса

Твердость сфероконусов по шкале Мооса составляет 7-8, что соответствует твердости кварца. Есть основания полагать, что температура обжига этих изделий была близка к температуре гомогенизации полевых шпатов, то есть 1050-1100 °С. Рентгенографические исследования фрагментов сфероконусов показали преимущественное содержание основного плагиоклаза ($CaAl_2Si_2O_8$), моноклинного пироксена [$Ca(Mg,Fe,Al)(SiO_3)_2$] и незначительную долю рентгеноаморфной фазы. Особо отметим, что в образцах не установлено содержания муллита, это означает, что для производства таких изделий использовались глины, не содержащие каолинит.

РЭМ-фото образцов, выполненных на сканирующем электронном микроскопе EVO-50XVP, демонстрирует гетерогенный характер микроструктуры, выражающийся в наличии достаточно крупных реликтовых включений и пор.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

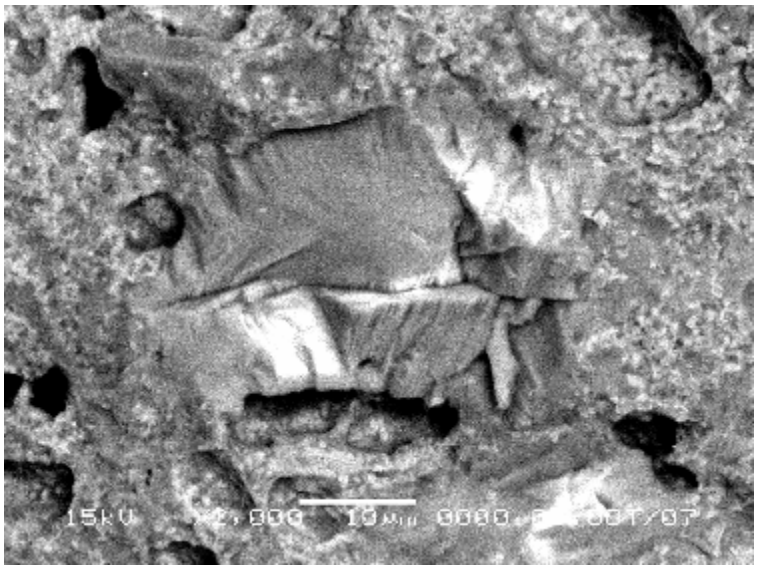


Рис. 3. РЭМ-фото сфероконуса, увеличение 2000.
Крупнозернистое включение калиевого полевого шпата

Высокие прочностные свойства сфероконусов можно объяснить трехмерной сеткой из кристаллических новообразований, преимущественные размеры пор составляют 1-5 мкм. Крупнозернистые включения полевых шпатов (до 15 мкм) не снижают прочности изделий, благодаря тому, что по составу и структуре незначительно отличаются от кристаллических новообразований, представленных пироксенами, что обеспечивает их высокую связность.

Отмечая чрезвычайно «пестрый» атомарный состав и гетерогенность системы, мы зафиксировали практически тождественные физические свойства изделий: высокую прочность, твердость, коррозийную стойкость.

Для внешне апериодичных структур характерны особые процессы упорядоченности.

Мы можем извлечь уроки из опыта производства керамики, которым обладали 1000 лет назад ремесленники Волжской Булгарии.

1. При производстве керамических сфероконусов не применялись грубодисперсные включения (отсутствие на снимках крупных зерен кварца).
2. Высокие эксплуатационные характеристики изделий достигались при использовании различного сырья, существенно отличающегося по химическому составу.
3. Изделия производились из местных, не каолинитовых глин (отсутствие муллита на рентгенограмме образцов, обожженных при температуре свыше 1050 ^{o}C).
4. Прочностные свойства изделий не связаны с наличием или отсутствием какого-либо одного кристаллического новообразования, а определяются всей совокупностью фаз вместе с микроструктурой.

Другим важным центром республики, где сформировались прекрасные традиции производства керамики, является город Елабуга, недавно отметивший свой тысячелетний юбилей. В усадьбе известного в России XIX века хлебопромышленника Стахеева прекрасно сохранились чудесные изразцы – продукт производства местных мастеров. Наряду с изразцами, в Елабуге производили прекрасную напольную плитку, ею выложены полы педагогического университета, который сегодня носит имя Стахеева.

Недалеко от Елабуги находится Менделеевский химический завод – одно из старейших химических предприятий России. Еще в XIX веке на заводе производились исключительно чистые химические продукты. Для производства использовались различные кислоты, для хранения и транспортировки которых – керамические сосуды и трубопроводы. В заводском музее два зала посвящено керамике. Особое восхищение вызывает запорная арматура из керамики, выполненная с исключительной точностью.

Такие изделия можно рассматривать как предшественники технической керамики, над созданием которой трудились выдающиеся ученые России, в том числе и Д.И. Менделеев.

Исторически под керамикой понимали изделия и материалы, получаемые спеканием глин и их смесей с минеральными добавками. Сегодня керамическим и называют любые поликристаллические

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

материалы, получаемые спеканием неметаллических порошков природного или искусственного происхождения. Трудно установить дату, когда на промышленную арену вышла керамика, которую теперь называют высокотехнологичной. В зарубежной литературе за эту дату принято считать 1891 год, когда молодой ученый Эдвард Ачесон в попытке воссоздать африканские алмазы изобрел карбид кремния – первый искусственный материал с твердостью, достаточной для резки стекла. Ачесон запатентовал свой материал под маркой «Карборундум», также была названа и основанная им компания, которая в течение многих лет разрабатывала различные модификации карбида кремния. К сожалению, в России мало уделяли внимания патентной защите и пропаганде своих достижений, поэтому приоритет в создании технической керамики принадлежит не нашей стране. Российским ученым и инженерам есть чем гордиться. Мало кто знает, что в начале XX века Россия была самым крупным в мире производителем черепицы. На территории Татарстана черепицу производили в Казани, Чистополе, Елабуге, селе Пестрецы, кстати, там функционировало и училище керамиков.

Рис. 4. Черепица XIX века из села Пестрецы

К сожалению, не были запатентованы и разработки по производству широко распространенной сегодня пустотелой керамики. Еще в 1836 г. при строительстве библиотеки Казанского императорского университета с успехом были применены пустотелые керамические блоки размером 10НФ для сводов большого зала. Недавние исследования показали, что пустотелые блоки и свод библиотеки находятся в прекрасном состоянии.

Сегодня в Татарстане методично развивают и приумножают традиции производства керамики. Ежегодно в республике вводятся в действие новые цеха и даже целые заводы по производству современной строительной керамики.

В целях организации масштабного производства лицевого кирпича объемного окрашивания нам была поставлена задача модифицировать малопластичные суглинки, которые являются наиболее распространенным сырьем Поволжского региона.

После длительных исследований в качестве первого модификатора был выбран мергель Максимковского месторождения Тетюшского района Республики Татарстан. Отличительной чертой этого мергеля является то, что его карбонатные составляющие представлены высокодисперсными органогенными включениями. Благодаря их форме, мы назвали их «пуговичками».

Химический состав Максимковского мергеля представлен следующим образом: SiO_2 – 33,24 %, Al_2O_3 – 11,36 %, TiO_2 – 0,58 %, Fe_2O_3 – 3,17 %, FeO – 0,41 %, Mno – 0,04 %, CaO – 24,57 %, MgO – 1,52 %, Na_2O – 1,52 %, K_2O – 2,03 %, SO_3 – 0,28 %, кварца – 8,23 %, п.п.п – 22,82 %.

Атомарный состав карбонатных включений (в процентах), установленный рентгеновским дисперсионно-энергетическим спектрометром (ДЭС), дает следующие результаты: углерод – 25,94; кислород – 61,03; алюминий – 0,69; кремний – 4,91; калий – 0,21; кальций – 7,04. По сравнению с кальцитом отмечается избыток углерода по отношению к кальцию.

Нами установлено, что добавка Максимковского мергеля к красножгущимся глинам различных месторождений (Алексеевского, Кощаковского, Шеланговского) позволяет значительно улучшить

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

технологические свойства, среди которых не последнее место занимает снижение чувствительности керамической массы к сушке.

Отсюда следует, что добавка мергеля, улучшая реологические свойства глиномассы (число пластичности), в то же время приводит к формированию в ней определенной структуры, обеспечивающей снижение усадки при сушке. Мы полагаем, что оба явления (увеличение числа пластичности и снижение воздушной усадки) обусловлены созданием в глиномассе коагуляционной структуры.

Результаты наших исследований хорошо коррелируют с данными, представленными 17 декабря 2009 г. в КГТУ в кандидатской диссертации Скворцова А.В. «Электрокинетический потенциал глиняных масс и его влияние на технологические свойства керамических материалов». В диссертации с позиции коллоидной химии показана взаимосвязь критической влажности керамических масс с их воздушной усадкой на примере влияния Максимковского мергеля на сушильные свойства глин и суглинков.

По результатам термигравиметрических исследований было отмечено, что температурный максимум эндоэффекта диссоциации мергеля составляет 760-780 ^{o}C, тогда как из литературных источников известно, что термическая диссоциация кальцита, связанная с его разложением до оксида кальция и углекислого газа, происходит при температуре более 800 ^{o}C (максимум эндоэффекта 850-950 ^{o}C).

Столь существенное отличие, с нашей точки зрения, обусловлено различиями в химическом составе анализируемых карбонатов, что, как отмечалось выше, связано с их органо-минеральной природой.

Практическая реализация отмеченных исследований была осуществлена на заводе ОАО «Алексеевская керамика». С этой целью в технологический режим предприятия были внесены серьезные изменения, направленные на решение трех задач:

1) повышение степени гомогенизации шихты;
2) совершенствование режима сушки;
3) изменение режима обжига.

Для решения первой задачи в отделение глиноподготовки в дополнение к двухвальным смесителям и вальцам грубого помола были установлены вальцы тонкого помола с зазором между валками 1 мм и глиносмеситель с фильтрующей головкой, а к бегунам мокрого помола был подведен паропрогрев. Указанные мероприятия позволили обеспечить высокую степень равномерного смешения исходных суглинков и мергеля.

Для решения второй задачи были построены новые сушила с широколопастными вентиляторами реверсивного действия. Режим сушки контролируется системой автоматики, регулирующей влажность и температуру с высокой точностью (до 0,1 °С). Влажность изделий после сушки составляет 1-2 %.

В результате исследований была спроектирована диаграмма обжига с максимальной температурой 1027 °С. Для практической реализации такого обжига была приобретена печь периодического действия с точной установкой температуры.

Добавка мергеля позволила изменять цветовую гамму керамического черепка (от розового до светло-желтого) и увеличивать прочностные характеристики изделий, т.е. повышать их марочность.

Повышение прочности получаемой керамики находит объяснение в данных рентгенографического анализа. Анализ образцов керамики показал, что минеральный состав кирпичей следующий:

а) реликтовые минералы (кварц, полевые шпаты);
б) новообразованные минералы:
- гематит Fe_2O_3;
- волластонит $CaSiO_3$, мелилит $(Ca,Na)_2(Al,Mg,Fe)[(Si,Al)_2O_7]$ и пироксен, близкий к геденбергиту состава $CaFe[Si_2O_6]$;
- аморфная силикатная (вероятно, алюмосиликатная) фаза.

Если в образце обожженного Алексеевского суглинка из новообразованных кристаллических фаз фиксируется лишь гематит, то в аналогичном образце, где присутствует добавка мергеля, новообразованными кристаллическими фазами являются волластонит, мелилит и пироксен, гематит не обнаружен. Во всех образцах также присутствует аморфная составляющая. Ни в одном из изученных керамических образцов с добавкой мергеля продуктов термической диссоциации присутствующего в сырье кальцита не обнаружено, не обнаружено также и продукта гидратации извести CaO – портландита $Ca(OH)_2$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Полученные данные указывают, что наблюдается четкая связь минерального состава образцов керамики с их цветовыми оттенками и физико-механическими свойствами:

- примесь гематита, обуславливающая красный цвет керамических образцов, фиксируется на дифрактограммах тех образцов, в составе которых присутствует до 20 % мергеля;
- наблюдается прямая зависимость содержания в образцах новообразованного волластонита и их прочности.

Отсутствие гематита в образцах керамики, в составе шихты которых содержание мергеля составляет более 20 %, можно объяснить вхождением железа в структуру мелилита и пироксена, чему, несомненно, способствует наличие кальцита. Отсюда, смена красно-коричневых цветов на желтые в образцах керамики с добавкой мергеля объясняется снижением содержания гематита.

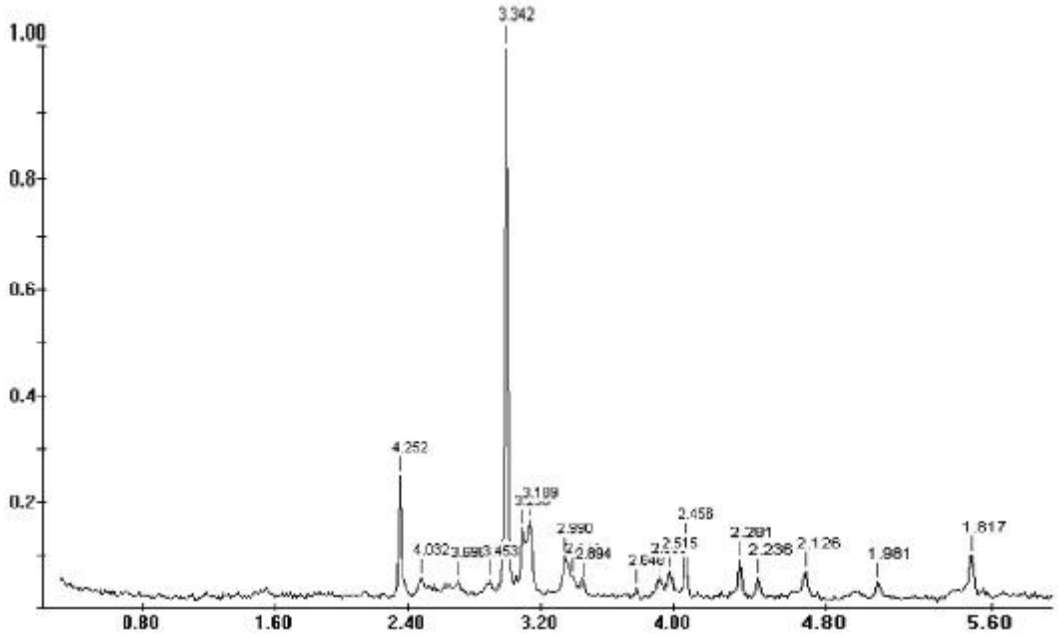


Рис. 5. Дифрактограмма образца керамического кирпича.
Состав шихты: Алексеевский суглинок – 70 %, Максимковский мергель – 30 %. Температура обжига 1020 ^{0}С.
Минеральный состав образца: кварц, полевые шпаты, волластонит, мелилит, пироксен

В результате такой модификации сырья и соответствующей модернизации производства было организовано изготовление высококачественного лицевого кирпича, соответствующего марке М 200, который успешно реализуется, несмотря на кризисные ситуации. В частности, ОАО «Алексеевская керамика» выиграло тендер на поставку такого кирпича для строительства объектов Универсиады-2013. По итогам 2009 года было произведено и реализовано 10 млн. шт. такой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыгина Т.З., Садыков Р.К., Корнилов А.В., Сенаторов П.П. Состояние производства стеновых керамических материалов в Российской Федерации // Строительные материалы, 2009, № 4. – С. 10-11.
2. Перспективы развития инвестиционно-строительного комплекса Республики Татарстан / Под ред. И.Э. Файзуллина: монография. – Казань: Центр инновационных технологий, 2008. – 376 с.
3. Салахов А.М., Салахова Р.А. Керамика вокруг нас. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2008. – 160 с.
4. Салахов А.М. Керамика для строителей и архитекторов. – Казань: Издательский дом «Парадигма», 2009. – 296 с.
5. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учётом генезиса горных пород. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 526 с.
6. Бакунов В.С., Беляков А.В. Технология керамики с позиций синергетики // Стекло и керамика, 2005, № 3. – С. 10-13.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 621.792
В.Ф. Строганов – доктор химических наук, профессор
И.В. Строганов – кандидат технических наук, доцент
А.С. Ахметшин – соискатель
E-mail: svf@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
О.В. Стоянов – доктор технических наук, профессор
И.А. Старостина – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный технологический университет

ЭПОКСИПОЛИМЕРНЫЕ АДГЕЗИОННЫЕ ПРАЙМЕРЫ В АНТИКОРРОЗИОННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

АННОТАЦИЯ
В статье рассматривается роль эпоксидных праймеров при формировании адгезионных соединений полимеров с металлами с точки зрения комплексного подхода в оценке адгезионных свойств, учитывающего кислотно-основные свойства субстратов, с целью обеспечения надежности и долговечности трубопроводов.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: антикоррозионная изоляция, свободная поверхностная энергия, адгезионные праймеры.

V.F. Stroganov – doctor of chemical sciences, professor
I.V. Stroganov – candidate of technical sciences, associate professor
A.S. Akhmetshin – researcher
Kazan State University of Architecture and Engineering
O.V. Stoyanov – doctor of technical sciences, professor
I.A. Starostina – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State Technological University

EPOXYPOLYMERS ADHESION PRIMERS IN ANTICORROSIVE PIPELINE SHEETING

ABSTRACT
In this article the role of epoxy primers is examined at forming of adhesion connections of polymers with metals from the point of view of complex approach in the estimation of adhesive behaviors, taking into account acid-basic properties of substrates, with the purpose of providing of reliability and longevity of pipelines.
KEYWORDS: anticorrosive protection, free surface energy, adhesive primers.

В технологии антикоррозионной изоляции сварных стыковых соединений металлических (Ме) нефте- и газопроводов, имеющих полиэтиленовое покрытие (ПЭП), важную роль в композиционной конструкции (Ме-ЭПР-ПЭП) имеет эпоксидный праймер (ЭПР), который наносят на предварительно подготовленную поверхность труб перед формованием термопластичной манжеты. После нанесения ЭПР производят навивку заготовки из двухслойной ленты, состоящей из одноосноориентированного полиэтилена высокого давления и термопластичного адгезива на основе севилена [1], который обеспечивает адгезию ПЭП к ЭПР, а затем завершают формование манжеты при термическом усаживании заготовки горелками.

В этой композиционной конструкции ЭПР играет важную роль и должен удовлетворять комплексу технологических и прочностных свойств. К наиболее значимым технологическим характеристикам для ЭПР относятся: тиксотропность и жизнеспособность эпоксидных композиций, а из физико-механических характеристик следует выделить: адгезионные – предел прочности клеевых соединений при сдвиге ($у_{сдв}$) и прочность при равномерном отрыве ($у_{ро}$), а также когезионные – предел прочности ($у_р$) и относительное удлинение ($е_р$) при разрыве.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Цель наших исследований заключалась в анализе возможностей модификации эпоксидных адгезионных композиций (праймеров) при реализации комплексного подхода, учитывающего кислотно-основные свойства субстратов (твердых полимерных и металлических поверхностей) для обеспечения надежности и долговечности трубопроводов.

При защите металлических труб ПЭП в стационарных условиях в качестве ЭПР применяют порошковые эпоксидные композиции, которые напыляют на очищенную, нагретую Ме поверхность, а в полевых условиях при выполнении ремонта стыковых соединений наиболее целесообразно применять ЭПР на основе эпоксиаминных композиций, отверждаемых при умеренных температурах (50-70 єС) или без подвода тепла [2]. Однако наряду с этим важным технологическим преимуществом, эпоксидные полимеры (ЭП) на основе эпоксидиановых смол и алифатических аминов (ДЭТА – диэтилентриамин, ТЭТА – триэтилентетраамин, ПЭПА – полиэтиленполиамин и др.) обладают существенным недостатком – хрупкостью ($\varepsilon_p \leq$ 0.6-1 %), для устранения которого используют различные приемы химической модификации [3].

Уменьшение хрупкости ЭП при регулировании адгезионных и когезионных свойств нами осуществлялось путем модификации как смоляной (олигомерной), так и отверждающей части композиций. Химическую модификацию эпоксидной части композиции осуществляли при частичной или полной замене эпоксидианового олигомера ЭД-20 на реакционноспособные модификаторы, что позволило при формировании структуры ЭП обеспечить образование алифатических фрагментов – релаксаторов в ~ 3-5 раз большей длины, чем в не модифицированных эпоксидиановых полимерах аминного (ДАТА, ПЭПА) отверждения. В случае использования эпоксиуретановых каучуков в структуре ЭП основным полярным модифицирующим фрагментом являются уретановые группы, а при взаимодействии олигоэфирциклокарбонатов (ОЭЦК) с алифатическими аминами образуются также полярные – гидроксиуретановые группы.

Весьма существенным фактором при формировании ЭПП в трассовых условиях (ремонт и соединение трубопроводов) является применение отвердителей с учетом не только их активности, но и возможности модификации свойств отвержденных полимеров. Поэтому, наряду с названными выше высокоактивными аминными отвердителями, для модификаций отверждающей части нами использовались также высокоактивные отвердители: диэтилентриаминометилфенол – УП-583Д (продукт конденсации формальдегида и фенола с ДЭТА), триэтилендиаминаминометилфенол – УП583Т (то же с ТЭТА), этилендиаминометилфенол – АФ-2М (то же с этилендиамином) и ДТБ-2 продукт взаимодействия ТЭТА с бутилметакрилатом, важной особенностью которых является способность отверждать эпоксидные олигомеры на влажных поверхностях, под водой и при пониженных температурах.

Кроме когезионных и адгезионных свойств эпоксидных полимеров, в вопросе обеспечения работоспособности композиционной конструкции важное значение имеют и кислотно-основные взаимодействия между адгезивами и субстратами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Модификация эпоксиолигомерной части осуществлялась предварительным смешиванием при 40 ± 2 ^{0}С в течение 10-15 мин. эпоксидиановых олигомеров ЭД-20 с модификаторами (табл. 1). В ряде композиций использовались эпоксидные реакционноспособные модификаторы в «чистом виде» (без ЭД-20). Отверждение проводили без подвода тепла и при умеренном (60 ^{0}С – 90 мин.) отверждении для УП-583 Д и АФ-2М.

Определяли полную свободную поверхностную энергию (СПЭ) γ_S – избыток энергии поверхностных слоев на границе раздела фаз. Она складывается из составляющих: g_s^d – дисперсионной, обусловленной межмолекулярным взаимодействием «мгновенных» диполей и γ^{ad} – кислотно-основной, обусловленной всеми остальными силами недисперсионной природы. Значение этих составляющих оценивали измерением краевых углов смачивания поверхностей субстратов (эпоксидных полимеров, металлов, полиэтилена) тестовыми веществами: кислотами Льюиса – фенол и глицерин) и основаниями – анилин и формальдегид. Измерения проводили с помощью катетометра КМ-6, а усредненные значения определяли графически.

Параметр кислотности – Д определяли по методу Э. Бергера [4] как разницу в значениях g_s^{ad} для кислот и оснований (табл. 1 и 2).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

Поверхностные характеристики эпоксиполимерных адгезивов

Состав эпоксополимерных композиций (ЭПП)**	g_s^d, мДж/м^2	g_s^{ab}, мДж/м^2	g_s, мДж/м^2	$D_{покр.}$ (мДж/м^2)$^{1/2}$
ЭД-20+ДЭТА*	36.1	6.8	42.9	6.8
ЭД-20+АФ-2М*	31.4	16.2	47.6	3.0
ЭД-20+ДТБ-2*	37.2	6.1	38.1	2.0
ЭД-20+УП-583Д	30.2	17.9	48.1	2.8
ЭД-20+ПЭПА	31.7	8.5	39.2	5.1
ПЭФ-3А+ДЭТА	34.4	7.9	42.3	4.0
ПЭФ-3А+ПЭПА	34.2	8.2	42.2	3.2
ПЭФ-3АГ+ДЭТА	33.5	8.2	41.7	4.5
ПЭФ-3А+АФ-2М	32.8	8.0	40.8	2.1
ПЭФ-3А+УП-583Д	35.2	9.5	44.7	1.8
ПДИ-3А+ДЭТА	31.2	6.8	38.0	2.8
ПДИ-3А+УП-583Д	30.8	15.7	46.5	2.5
УП-588+ДЭТА	39.2	8.7	47.9	2.1
УП-588+УП-583Д	36.5	14.1	50.6	1.0
ЭД-20+СКД-КТР+УП-583Д	32.6	16.3	48.9	2.5
ЭД-20+ОЭЦК-1+УП-583Д	34.8	15.3	50.1	1.2
ЭД-20+Cr_2O_3+ДЭТА	30.5	7.6	38.1	3.1
ЭД-20+TiO_2+ДЭТА	29.8	8.2	38.0	3.5

γ_s – полная свободная поверхностная энергия;

γ_s^d и γ_s^{ab} – дисперсионная и кислотно-основная составляющие СПЭ;

$D_{покр}$ – параметр кислотности поверхности полимерных адгезивов;

*) данные работы [7];

**) ОЭЦК-1 – олигоэфирциклокарбонат на основе алифатической эпоксидной смолы ДЭГ-1 (диглицидиловый эфир диэтиленгликоля);

УП-588 – эпоксидный блоколигомер;

ПЭФ-3А, ПЭФ-3АГ – эпоксиуретановые каучуки на основе полифурита с концевыми эпоксидными группами;

ПДИ-3А – эпоксиуретановый каучук с концевыми эпоксидными группами;

СКД-КТР – олигобутадиеновый каучук с концевыми карбоксильными группами.

Адгезионные свойства полимеров: прочность при сдвиге – $y_{сдв}$ и при равномерном отрыве – $y_{ро}$ – оценивали по ГОСТ 14759-69 и ГОСТ 14760-69.

Когезионные свойства полимеров: прочность при растяжении – $y_р$ и удлинение при растяжении – по ГОСТ 11262 – 80.

Жизнеспособность полимерных композиций определялась методами: по нарастанию вязкости после совмещения с отвердителями и по «обрыву» нити.

В работах [4-5] приведены данные, подтверждающие наличие прямой зависимости между кислотно-основными характеристиками полимерных адгезивов, адгерентдов и прочностью образуемых адгезионных соединений. Для более точной оценки адгезионной способности предложено [6] использовать понятие приведенного параметра $\Delta D = D_{покр.} - D_{субстр.}$ · Рост ΔD свидетельствует о повышении разницы в функциональности полимера и субстрата и должен сопровождаться (при прочих равных условиях) усилением кислотно-основного взаимодействия. Увеличение абсолютных значений кислотности или основности субстрата по отношению к адгезиву свидетельствует об усилении межмолекулярных взаимодействий и прочности клеевого соединения.

В данной работе нами определены поверхностные характеристики полимерных адгезивов (табл. 1), металлических субстратов (табл. 2), которые соотнесены со свойствами эпоксидных праймеров (табл. 3) для анализа возможностей обеспечения прочности и надежности работы композиционной конструкции антикоррозионной изоляции сварных стыковых соединений.

Как видно, поверхностные свойства эпоксидных адгезивов (праймеров), входящих в состав трехслойных покрытий (табл. 1), существенным образом зависят от химического строения компонентов композиций: модификаторов, отвердителей и наполнителей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 2

Поверхностные характеристики металлических поверхностей

Металлы и сплавы	g_s^d, мДж/м^2	g_s^{ab}, мДж/м^2	g_s, мДж/м^2	$D_{субстр}$, (мДж/м^2)$^{1/2}$
Титан	25.1	15.4	40.5	0.9
Медь	24.8	7.2	32	3.3
Латунь	23.1	13.3	36.4	4.0
СТ-20	22.0	19.3	39.3	5.5
СТ-10	26.3	8.3	34.6	8.1
Я1Т	24.2	11.3	35.5	2.9
Д16Т	25.5	21.1	46.6	4.2
Д16АМ	21.0	24.1	45.1	3.2
Д16АТВ	25.2	19.1	44.3	2.7
ЭП696	22.2	19.2	41.4	1.3

Полная СПЭ для рассмотренных отвержденных эпоксиполимерных адгезивов, в зависимости от компонентного состава, изменяется в достаточно широком интервале – от 38 до 50 мДж/м^2, причем основной вклад в это значение вносит дисперсионная составляющая СПЭ – γ_s^d. Кислотно-основная составляющая не превышает 8-15 мДж/м^2. Параметр кислотности $D_{покр}$ невысок и положителен, что свидетельствует о слабо кислом характере эпоксиполимерных адгезивов. Нами установлено, что доотверждение при повышенных температурах (60-80 °С) снижает $D_{покр}$ для полимерных адгезивов и это необходимо учитывать при выборе технологии формирования ЭП и термопластичной манжеты. Наряду с влиянием режимов отверждения композиций, отмечено также влияние строения аминных отвердителей, например, при взаимодействии эпоксидиановых олигомеров ЭД-20 с алифатическими аминами: ПЭПА, ДЭТА, ДТБ-2 значения дисперсионной составляющей γ_s^d изменяются в пределах 32-36 мДж/м^2, а кислотно-основной составляющей γ_s^{ab} – 6-7 мДж/м^2, при использовании же отвердителей, сочетающих алифатические и ароматические фрагменты (АФ-2, УП-583Д и др.), значения γ_s^d уменьшаются до 30-32 мДж/м^2, а γ_s^{ab} увеличиваются – 16-18 мДж/м^2.

Как отмечалось выше, предлагаемые нами в составе ЭПП модификаторы (табл. 3) позволяют при формировании структуры ЭП вводить алифатические фрагменты – релаксаторы. Это обстоятельство позволяет не только регулировать параметры сетки химических связей, но и оказывает влияние на реакции отверждения при умеренных температурах или без подвода тепла, что обеспечивает более полное отверждение полимера, а следовательно, способствует снижению значения D.

Как известно, явление адгезии заключается в различных типах взаимодействия молекул контактирующих фаз. Для реализации адгезионного взаимодействия могут иметь значение любые величины энергии связи и поэтому даже редкие поверхностные кислотно-основные связи могут в определенных случаях обеспечивать достаточное межмолекулярное взаимодействие в адгезионном соединении.

Поскольку при формировании адгезионных соединений и покрытий значительная роль принадлежит субстратам, нами учитывались поверхностные характеристики различных металлических поверхностей (табл. 2), полученные ранее [7].

Необходимо отметить тот факт, что даже небольшое различие в марках металла или условиях подготовки поверхности может заметно повлиять на параметр кислотности. Для металлической поверхности труб нефте- и газопроводов определены значения γ_s^d = 22-26; γ_s^{ab} = 8-19; γ_s = 34-39 и D = 5-8 (СТ-10, СТ-20). Свойства металлических поверхностей D изменяются почти от нейтральных (титан) до высоких значений (Ст-10), но, тем не менее, поверхностные характеристики ЭПП (табл. 1) позволяют обеспечить достаточно высокие значения как при оценке стойкости к катодному отслаиванию, так и при оценке адгезионной прочности $\sigma_{сдв}$ и $\sigma_{ро}$ (табл. 3).

Учитывая необходимость сочетания технологических и физико-механических показателей, технических требований к полимерному праймеру, сформулированных в ГОСТ Р 51164-98, а также уровень физико-механических показателей свойств аналога – эпоксидной грунтовки (опробованной по данному назначению для металлических поверхностей), нами проведены исследования (табл. 3) по влиянию на комплекс показателей аминоэпоксидных адгезивов активных пластификаторов (реакционноспособных каучуков, эпоксидных блоколигомеров, олигоэфирциклокарбонатов), аминных и имидазолиновых отвердителей и минеральных наполнителей.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 3

Физико-химические свойства эпоксиполимерных праймеров

Композиции**	Жизнеспособность композиций, мин.		Показатели свойств полимеров			
	при 25 °С	при 50 °С	Прочность при раст. (s_p), МПа	Относит. удлин. (e_p), %	Прочность при сдв.*($s_{сдв}$), МПа	Прочн. при равн. отр. *($s_{ро}$), МПа
ЭПП-1	55-60	15-20	28.5	6.5	10.5	25.0
ЭПП-2	60-65	20-22	15.0	45.0	8.0	16.5
ЭПП-3	60-65	15-18	45.0	5.0	25.3	48.8
ЭПП-4	50-60	20-22	25.0	12.6	21.4	35.0
ЭПП-5	90-120	30-35	8.6	30.5	12.8	29.5
ЭПП-6	60-70	20-25	90.0	4.0	20.6	45.3
ЭПП-7	70-80	25-30	25.0	30.0	25.8	39.7

*) СТ-10

**) Содержание пластификаторов в композициях для ЭПП до 20 мас. ч (кроме ЭПП-5 – до 50 мас. ч.)

Отвердители вводили в стехиометрических количествах.

Наполнители: Cr_2O_3, TiO_2, тальк и аэросил до 20-30 мас. ч (суммарно).

Как видно (табл. 3), варьирование составов ЭПП, содержащих эпоксикаучуки ПЭФ-3А (ЭПП-1 – аналог [3] по составу), ПЭФ-3АГ (ЭПП-2), ПДИ-3А (ЭПП-3), олигобутадиеновые карбоксильные каучуки СКД-КТР (ЭПП-4), эпоксидный блоколигомер УП-588 (ЭПП-5) и ОЭЦК (ЭПП-6 и ЭПП-7), позволяет в очень широких пределах: ε_p =4-40 %; σ_p = 8.5-90 МПа; $\sigma_{сдв}$ = 8-26 МПа и $\sigma_{ро}$ = 16-49 МПа – изменять адгезионные и когезионные свойства предлагаемых нами эпоксидных праймеров. Кроме модификации прочностных свойств, варьирование составов эпоксидных композиций позволяет существенно влиять на поверхностные свойства ($г_s^d$, $г_s^{ab}$ и D) полимерных праймеров, что важно для формирования композиционных антикоррозионных конструкций с учетом кислотно-основных взаимодействий различных субстратов (металлических труб, полиэтиленовых покрытий и праймеров).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ 227149. Полимерная композиция клея-расплава (варианты). Опубл. 20.04.2004.
2. Чернин И.З., Смехова Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
3. Строганов И.В., Строганов В.Ф. Когезионные и адгезионные свойства эпоксиаминных адамантансодержащих полимеров // Вестник КГТУ, 2003, № 2. – С. 379-383.
4. Berger E.J. // J. Adhes. Sci. and Technol, 1990, v. 4, № 5. – P. 373-391.
5. Finlayson M.F., Shah B.A. // J. Adhes. Sci. and Technol, 1990, v. 4, № 5. – P. 431-439.
6. Старостина И.А., Хасбиуллин Р.Р., Стоянов О.В., Чалых А.Е. // ЖПХ, 2001, т. 74, № 11. – С. 1859-1862.
7. Старостина И.А., Бурдова Е.В., Кустовский В.Я., Стоянов О.В. // Клеи. Герметики. Технологии, 2005, № 10. – С. 16-21.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.335
Сычугов С.В. – аспирант
E-mail: stas_sychugov@udm.ru
Ижевский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА ДЛЯ АКТИВАЦИИ АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

АННОТАЦИЯ

Ангидритовые вяжущие относятся к классу воздушных вяжущих веществ, изделия на их основе твердеют и набирают прочность в воздушных условиях. У ангидритовых вяжущих веществ есть ряд преимуществ, однако широкое их применение ограничено в связи с особенностями химического строения.

В настоящих исследованиях изучалась возможность активации ангидритовых вяжущих отходами производства завода «Аксион-Холдинг» – гальваническим шламом. Анализ данных о химическом составе показал наличие в шламах активных компонентов, обладающих вяжущими свойствами. Для повышения активности шлама был произведен обжиг техногенного отхода в интервале температур 600ч1000 °С, после чего исследовались его физико-химические свойства: влияние на скорость гидратации вяжущего, способность повышения прочности при сжатии и изгибе и т.п.

В результате опытов было получено низкомарочное вяжущее, модифицированное обожженным шламом, с повышенными характеристиками прочности при сжатии 30-40 % по сравнению с контрольным образцом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ангидритовые вяжущие, активация, гальванический шлам, скорость гидратации.

S.V. Sychugov – post-graduate student
Izhevsk State Technical University

USING GALVANIC SLUDGE FOR HARDENING ANHYDRITE ASTRINGENT ACTIVATION

ABSTRACT

Anhydrite astringents apply to air classes of astringent materials, that is why articles and constructions based on anhydrite become hard and gather durability in air environment. This sort of material has some advantages, but wide usage is limited by peculiarities of chemical structure.

The researches have shown that the possibility of strengthening anhydrite astringents by galvanic sludge has been examined. This sludge is the deviations of galvanic industry production, which are made at Axion-Holding Izhevsk Motor Factory. As a result of the chemical analysis of galvanic sludge, the presence of active components was detected. Binding capacities were found out. To improve the binding capacities, the sludge was burned in the range of temperature 600ч1000 degrees. Then the chemical and physical properties of the sludge were examined. The properties are the influence on speed aquation of astringent, durability hardening by pressure and bending, etc.

As a result a low-grade astringent material modifiered by sludge was received. This material has hardened the durability when pressured. The durability received is 30-40 percent harder in comparison with that of check sample.

KEYWORDS: anhydrite astringents, strengthening, galvanic sludge, speed aquation.

Введение

Ангидритовые вяжущие относятся к классу воздушных вяжущих веществ, изделия на их основе твердеют и набирают прочность в воздушных условиях. По сравнению с гипсовыми, используемыми чаще всего, у ангидритовых вяжущих веществ есть ряд преимуществ: обладают высокой конечной прочностью, которая с течением времени увеличивается, имеют лучшую водостойкость, как следствие – менее подвержены деформативности во влажных условиях [1, 2]. Однако твердение

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ангидритовых композиций протекает значительно медленнее по сравнению с гипсовыми [3, 10], что ограничивает их в применении или требует введения в состав активаторов и ускорителей твердения.

Известны ангидритовые вяжущие, получаемые обжигом двуводного гипса или природного ангидрита [3], в то же время возможно получение ангидритовых вяжущих помолом природного ангидрита с добавлением для интенсификации твердения щелочных активаторов гидратации и твердения ангидрита.

Для решения задачи необходимо привести основные виды активаторов для ангидритового вяжущего и доказать, что можно в качестве таковых использовать шламы, так как в них присутствуют соединения, способствующие ускорению гидратации:

1. Подобрать составы, обеспечивающие интенсификацию твердения ангидритовых вяжущих;
2. Определить качественные и количественные параметры исследуемых составов.

Материалы и методы исследования

В качестве вяжущего использовался ангидрит Ергачёвского месторождения Пермского края. В соответствии с техническими требованиями ангидрит должен иметь характеристики согласно таблице 1. При проведении исследований ангидритовый порошок просеивался через сито № 008 и определялась удельная поверхность.

Таблица 1

Технические характеристики вяжущего

Содержание $CaSO_4$, %	Плотность, г/смі	Тонкость помола, смI/г	Нормальная густота ангидритового теста, %
75-85	**2,8-2,9**	**2100-2200**	**35-40**

В качестве активатора твердения исследовался гальванический шлам – отход гальванического производства ОАО «Аксион-холдинг», который является продуктом нейтрализации кислот, применяемых в гальваническом производстве, растворами щёлочей (KOH, NaOH и др.) или известью. Шлам представляет собой жидкотекучую массу серого цвета (рис. 1а). Химический состав гальванического шлама согласно [5] представлен в таблице 2. Содержание влаги в шламе определялось путем его сушки в сушильном шкафу при температуре 240 °С и составило 39,7 %.

Минералогический состав гальванического шлама определялся с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-3, сущность которого заключается в изучении дифракционной картины, получаемой при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями имеющихся в структуре кристаллов [4].

Таблица 2

Химический состав гальванического шлама

Материал	Содержание окислов, %							
	SiO_2	CaO	MgO	MnO	Cr_2O_3	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3
Шлам № 1	1,8	10,7	15,1	0,1	3,2	4,5	26,6	3,7

Анализ спектра проводился после сушки шлама при 240 °С (рис. 2).

Минералогический состав исследуемого шлама включает карбонат кальция $CaCO_3$, присутствует в небольшом количестве оксид кремния SiO_2, имеются следы оксиды магния MgO, железа Fe_2O_3 и других оксидов.

Общеизвестно, что твердение ангидритовых вяжущих интенсивно протекает в среде щелочных активаторов, одним из которых является известь CaO [1, 8].

В связи с этим исследуемый шлам подвергался обжигу в интервале температур 600 ч 1000 °С. (T_1 = 600 °С; T_2 = 800 °С; T_3 = 1000 °С), при котором исходный кальцит $CaCO_3$ подвергается разложению до оксида кальция CaO и диоксида углерода CO_2.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

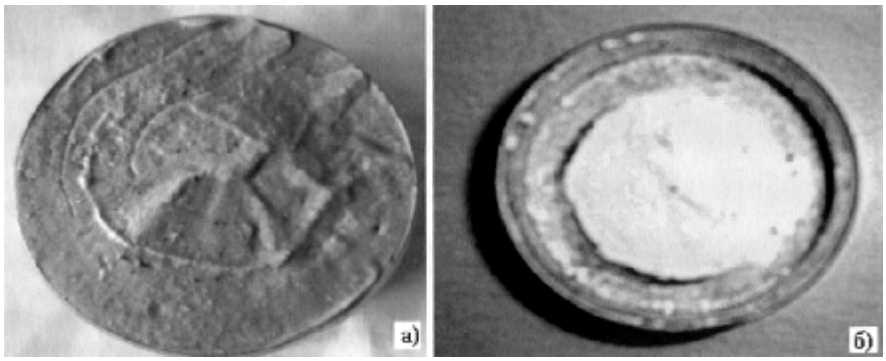


Рис. 1. Исследуемый шлам: (а) – во влажном (естественном) состоянии; (б) – в высушенном состоянии

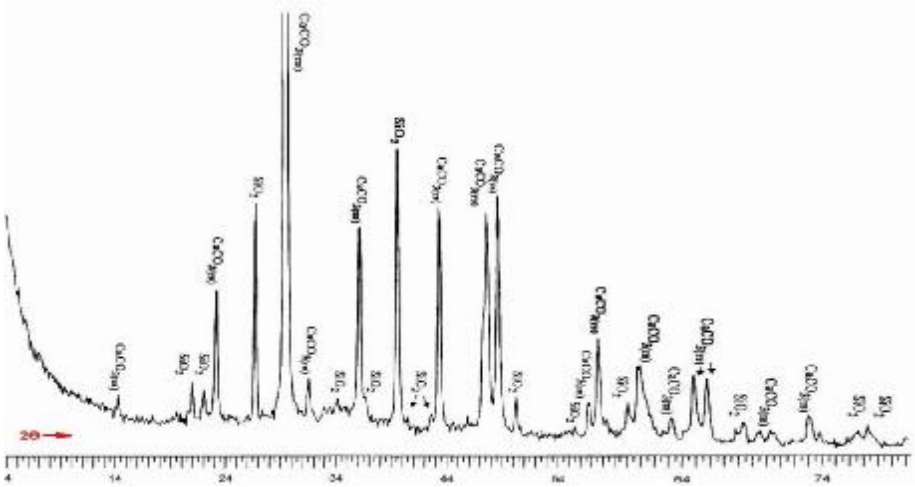


Рис. 2. Рентгенограмма гальванического шлама после сушки при T = 240 °C

После обжига порошок подвергался рентгенофазовому анализу, определялся минералогический состав обожженного шлама (рис. 3, 4). В интервале температур обжига 600ч1000 °C образовался оксид кальция CaO. Известно, что свойства оксида кальция: плотность, размер кристаллов, скорость твердения (гидратации) – зависят от температуры диссоциации. Обожженный шлам использовался для активации ангидритового вяжущего при различных его концентрациях. Основываясь на данных [5, 6, 7], содержащиеся в составе шламов соединения CaO, SiO_2, FeO и Fe_2O_3, а также их модификации в высокодисперсном состоянии способны создавать эффект упорядочения структуры. Он заключается в способности дисперсных частиц при сближении мгновенно конденсироваться в камневидное вещество, с образованием структурных связей.

Для исследования структуры порошков, обожженных при различных температурах, проводилось исследование микроструктуры частиц при различных увеличениях с помощью оптического микроскопа МИН-8 и растрового электронного микроскопа FEI Quanta 200 (рис. 5а, б).

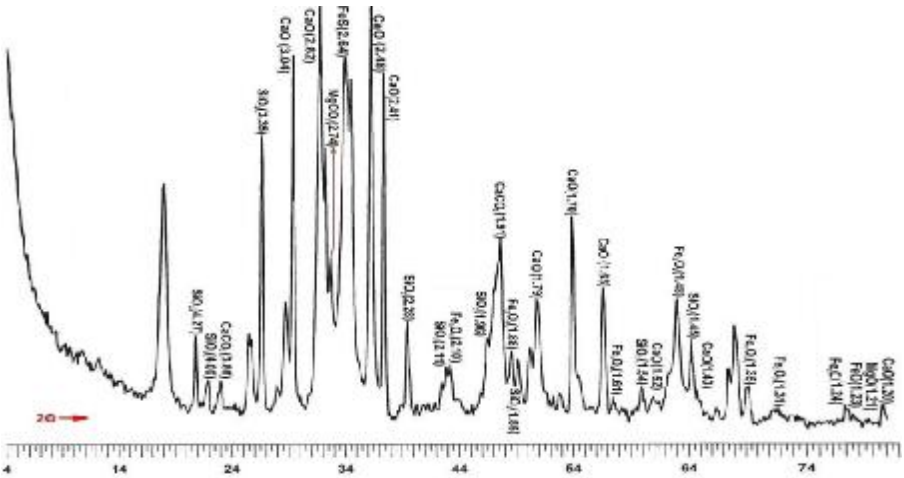


Рис. 3. Рентгенограмма гальванического шлама после обжига при T = 800 °C

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

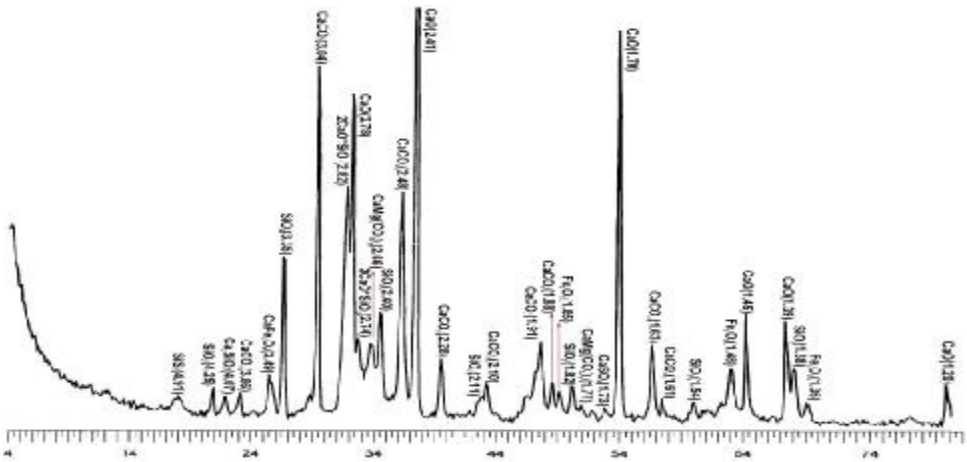
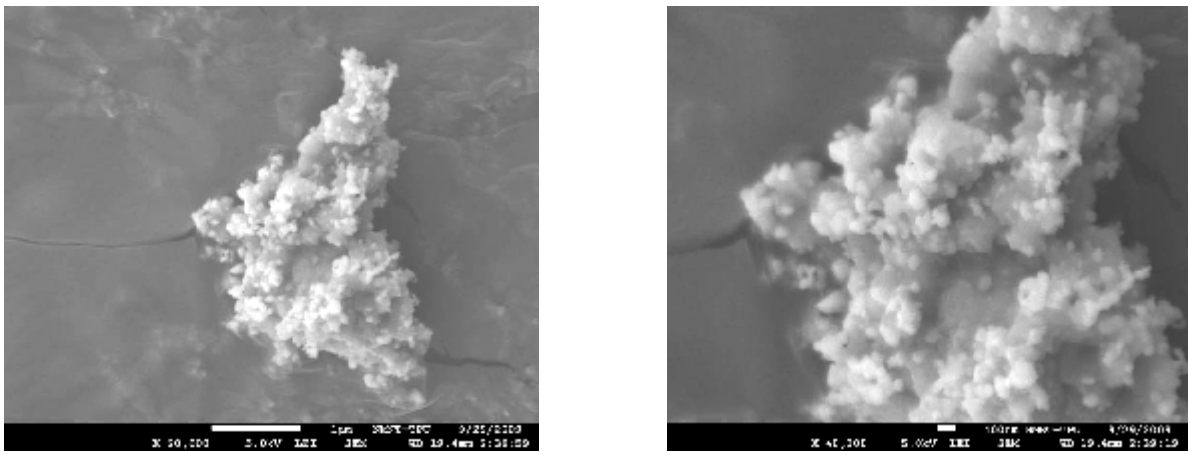


Рис. 4. Рентгенограмма гальванического шлама после обжига при Т = 1000 °С



а) б)

Рис. 5. Микроструктура шлама после обжига при температуре 800 °С: (а) – фрагмент агрегированных частиц при 20000-кратном увеличении; (б) – частицы при 40000-кратном увеличении

В результате анализа частиц шлама выяснилось, что их структура рыхлая, неплотная, она представлена кристаллами различной величины, поверхность покрыта мелкими группами кристаллов. Размер частиц составляет 2ч4 мкм. Для количественной оценки была определена удельная поверхность частиц при помощи растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализатора [9]. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Для затворения смеси использовалась вода, предварительно подогретая до 40° С, при которой, согласно работе [1], количество растворённого вяжущего (в пересчёте на $CaSO_4$) является наибольшим.

Таблица 3

Удельная поверхность частиц гальванического шлама

Т (обжига), °С	Номер образца	Масса, г	Удельная поверхность Ауд, смI/г / Кр	Исп. градуировка
1	600	0,2527	7.387 ± 0,0952 / 0,99975	140909.160311
2	800	0,1335	7.838 ± 0,250 / 0,99848	140909.160311
3	1000	0,2323	8.586 ± 0,135 / 0,99963	140909.160311

Для улучшения технологических свойств смеси: повышения подвижности, пластичности, водоудерживающей способности, удобоукладываемости, а также для регулирования сроков схватывания использовался суперпластификатор С-3, его содержание составляло 0,2 % от массы вяжущего. Применение С-3 повышает растворимость ангидрита, способствует кристаллизации образующегося гипса, приводит к понижению пористости и повышению общей плотности камня. Пластификатор добавлялся в сухом виде в воду, совместно с обожженным порошком шлама, после тщательного перемешивания образовывалась суспензия.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При затворении вяжущего водной суспензией достигалась однородность смеси. Смесь укладывалась в формы и уплотнялась. Для определения физико-механических характеристик изготавливались образцы-балочки с размерами 40х40х160 мм. При испытании образцов в соответствии с ГОСТ 8462-85 были получены значения пределов прочности на сжатие и изгиб образцов-балочек в возрасте 14 суток (рис. 6).

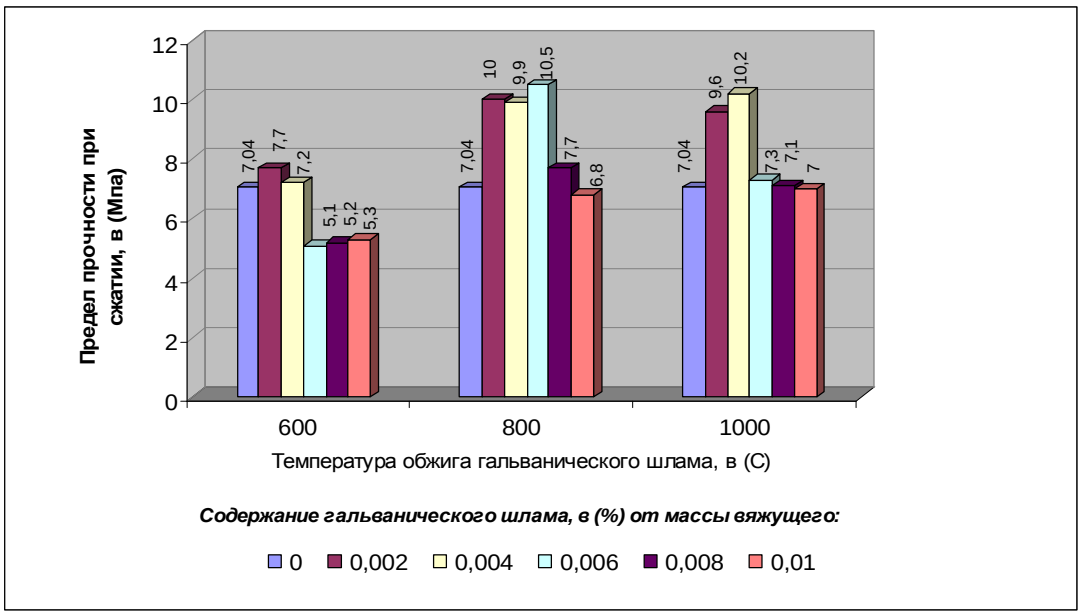


Рис. 6. График зависимости предела прочности при сжатии от содержания гальванического шлама

Как видно из графика, в области значений УДС 0.002ч0.006 % от массы вяжущего получены оптимальные характеристики пределов прочности на сжатие и на изгиб при температурах обжига Т = 800 °С и Т = 1000 °С. Прирост прочности предела прочности на сжатие, по сравнению с контрольным образцом, составил 30-40 %.

Заключение

В результате модификации ангидритовых вяжущих гальваническими шламами, подвергнутыми термической обработке при повышенных температурах (до 1200 °С), происходит повышение физико-механических показателей, в первую очередь, прочности при сжатии. Это происходит за счёт формирования более плотной структуры камня вследствие структурирования ангидритовой матрицы ультрадисперсным порошком обожженного шлама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 480 с.
2. Будников П.П., Зорин С.П. Ангидритовый цемент: Учебное издание. – М., 1954. – 93 с.
3. Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов): Учебное издание. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 520 с.
4. Асланов Л.А. Инструментальные методы рентгеноструктурного анализа. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 288 с.
5. Юдина Л.В., Юдин А.В. Металлургические и топливные шлаки в строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 160 с.
6. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф. Контактноконденсационные гидравлические вяжущие вещества // Строительство и архитектура. – Киев, 1975, вып. 9. – С. 31-34.
7. Боженов П.И., Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф. Эффект упорядочения структуры // Материалы конференции ЛИСИ. – Л., 1983. – С. 42-58.
8. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Баранов И.М., Бурьянов А.Ф., Лосев Ю.Г., Поплавский В.В., Шишин А.В. Гипс в малоэтажном строительстве / Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 240 с.
9. Яковлев Г.И., Фишер Х.-Б., Плеханова Т.А. Изучение микроструктуры строительных материалов: Методические указания. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2006. – 24 с.
10. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 666.3
С.А. Терешин – соискатель
А.М. Коробков – доктор технических наук, профессор
E-mail: cetter@mail.ru
Казанский государственный технологический университет

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ ГЛИН И ДОБАВОК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние некондиционных металлических порошков на физико-механические характеристики керамики из легкоплавкой глины. Установлено, что в зависимости от количества добавки металлического порошка и температуры обжига опытных образцов увеличиваются прочностные характеристики в 1,5-2,5 раза, повышается плотность в 1,1-1,2 раза, снижается водопоглощение в 1,4-1,7 раза, по сравнению с образцами, изготовленными без добавок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: легкоплавкая глина, металлические порошки, керамика, спекание, прочность, водопоглощение.

S.A. Tereshin – researcher
A.M. Korobkov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State Technological University

PHASE TRANSFORMATIONS AT FORMATION OF CERAMICS ON THE BASIS OF FUSIBLE GLIN AND ADDITIVES OF METAL POWDERS

ABSTRACT

Influential of sub-standard metal powders on physicomechanical characteristics of ceramics from fusible clay was investigated. Established that depending on quantity of the additive of a metal powder and temperature of burning of pilots models, mechanical characteristics is raise in 1,5-2,5 reason, the density is raise in 1,1-1,2 reason, water absorption is lower in 1,4-1,7 reason in comparison with the samples made without additives.

Keywords: fusible clay, metal powders, ceramics, sintering, durability, water absorption.

В последние годы при устройстве тротуаров российских городов стали все шире использоваться мелкоштучные элементы мощения, преимущество которых перед асфальтобетонным покрытием заключается в удобстве укладки, долговечности и экологичности применяемого материала, архитектурной выразительности мощеного покрытия, достигаемой использованием разнообразных по цвету и форме изделий, его ремонтопригодности.

Представленные на отечественном рынке декоративные элементы для мощения тротуаров, газонных дорожек, площадок и т.д. изготовлены, в основном, из цементно-песчаных смесей различными способами формования (вибролитье, вибропрессование). Имея разнообразную форму и достаточно высокие физико-механические показатели, они обладают при этом существенным недостатком: недолговечностью в условиях эксплуатации достаточно агрессивной среды. В зимнее время это – соляные растворы, слабокислотные пленки от выхлопных газов, разносимые по дорогам на колесах автомобилей. В летнее время редкое покрытие выдерживает палящее солнце, да и дождевая вода давно не является дистиллированной. Применяемые в подобных изделиях красители также недолговечны.

Клинкерные керамические изделия отличаются от обычного кирпича, бетона, а тем более от цементно-песчаных изделий, не только ценой, но и качеством, которое подразумевает более длительный срок службы без ухудшения эксплуатационных характеристик [1].

Целью данной работы являлась разработка технологии клинкерной керамики на основе легкоплавких глин и добавок металлических порошков.

В качестве сырья использовалась глина Калининского месторождения, в качестве добавки использовались порошки магния (МПФ) и алюминиево-магниевого сплава (ПАМ). Химический состав глины приведен в таблице 1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

Химический состав глинистого сырья

Глина	Содержание оксидов, %										
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	п.п.п	Сумма
Калининская	69,7	13,54	0,75	6,44	1,87	1,85	0,53	2,01	0,05	2,54	100

Согласно классификации, глинистое сырье Калининского месторождения характеризуется как среднепластичное (П-18), среднечувствительное к сушке, легкоплавкое, неспекающееся. Исследуемая глина является тонкодисперсной, содержит значительное количество крупных фракций – до 23 % и относится к группе глин с высоким количеством красящих оксидов. Минеральный (фазовый) состав исходной «Калининской» глины (рис. 1 а) представлен монтмориллонитом (d=14,53; 4,48 Е), гидрослюдой (10,01 Е), 7-А минералом (7,17 Е), кварцем (4,26; 3,34 Е) и полевым шпатом (3,19; 3,24 Е).

Основные характеристики металлических порошков представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики металлических порошков

Наименование порошка	Форма частиц	Насыпная плотность, кг/м^3	Размеры частиц, мкм	Удельная поверхность, м^2/кг	Температура плавления, ^{o}C
Магниевый (МПФ)	стружка	520	150-450	94	651
Алюминиево-магниевый (ПАМ)	многогранник	990	50-140	130	463

Подготовку глины перед ее использованием проводили в соответствии с принятыми в керамической промышленности методиками. Порошки металлов добавлялись без предварительной подготовки [2]. Исходные смеси композиций с добавкой металла в количестве до 10 % подвергали гомогенизации и увлажнению до 6-7 %. Образцы в виде цилиндров изготавливали методом компрессионного формования. Отформованные образцы сушили до остаточной влажности 1-2 % и обжигали в силитовой печи в диапазоне температур от 900 до 1100 єС с шагом 100 єС по режиму: скорость подъема температуры 2-3 єС/мин. Выдержка образцов в печи при достижении необходимой температуры составляла 3 ч. Охлаждение образцов производилось медленно [3].

Определяли физико-механические характеристики керамики: водопоглощение, усадку, кажущуюся плотность, прочность на сжатие и изгиб. Фазовый состав исходных компонентов и образцов керамики определяли методом рентгенографического анализа. Дифрактограммы образцов получали на порошковом дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker Axs) с геометрией Брега-Брентано в интервале углов 3-80° 2и и скоростью вращения гониометра 1 °/мин.

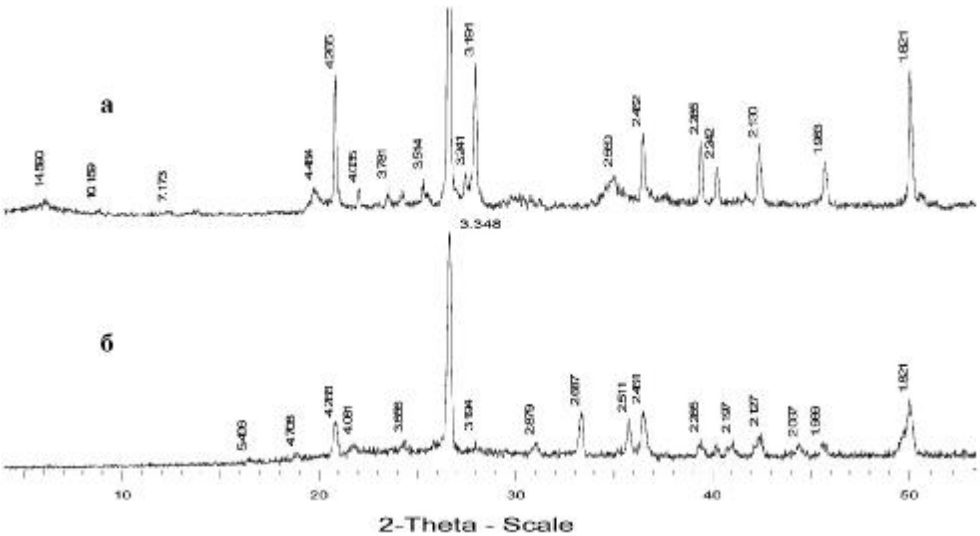


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм «Калининской» глины до (а) и после обжига (б) при температуре 1100 єС

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

По данным рентгенографического анализа установлено, что при обработке глины при температуре 1100 °С происходят фазовые изменения (рис. 1 б). Аморфизируется глинистая составляющая и частично – полевой шпат с одновременным образованием новых фаз: кристобалита – SiO_2 (на рентгенограмме d=4,08 Е), гематита – Fe_2O_3 (3,66; 2,68; 2,50 Е), шпинели – $MgAl_2O_4$ (2,88; 2,46 Е) и муллита – $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (5,40; 3,42; 2,20 Е).

При нагреве состава глины с добавкой МПФ до 1100 °С (рис. 2 а) образуется также периклаз – MgO (2,10; 1,48 Е) и диопсид – $CaMgSi_2O_6$ (3,02; 2,97; 2,59 Е). Добавка ПАМ (рис. 2 б) приводит к образованию диопсида и кордиерита – $Mg_{12}Al_{14}Si_5O_{18}$ (8,50; 4,89 Е) и регистрируется также некоторое количество периклаза.

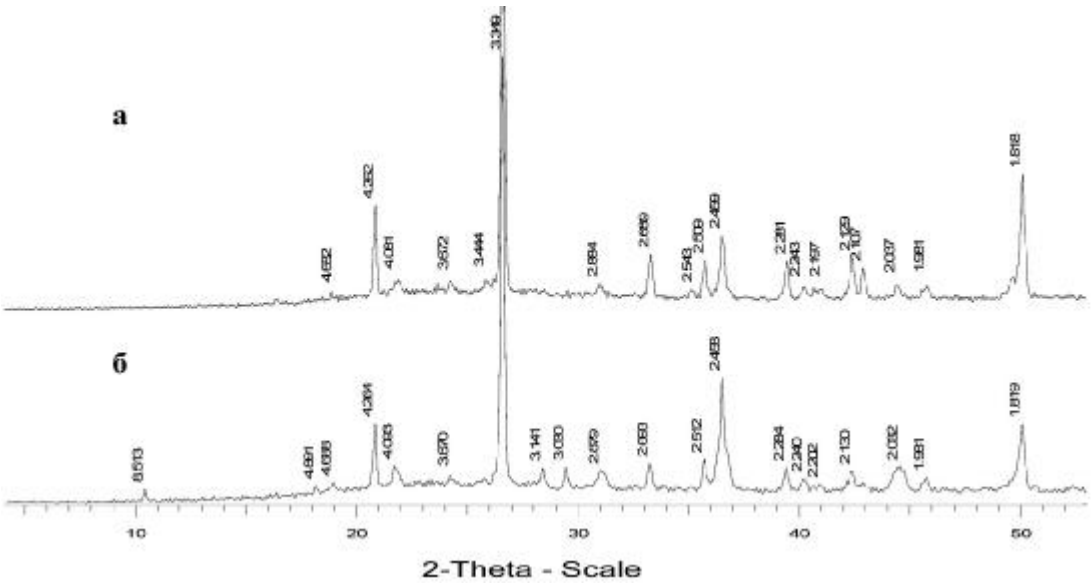


Рис. 2. Обзорные дифрактограммы образцов после обжига при 1100 єС.
Составы: а – глина с 5 % МПФ, б – глина с 10 % ПАМ

Результаты испытаний опытных образцов показали, что добавка металлических порошков в легкоплавкую глину Калининского месторождения приводит к увеличению прочностных характеристик. При всех температурах обжига прослеживается четкая зависимость увеличения прочности от количества вводимой добавки. Так, при введении в состав шихты алюминиево-магниевого порошка ПАМ лучшими прочностными характеристиками обладал образец с 5 % добавки (максимум при 1100 єС – 97,47 МПа), а при введении магниевого порошка МПФ – с 7 % добавки (максимум при 1100 єС – 91,44 МПа) (рис. 3).

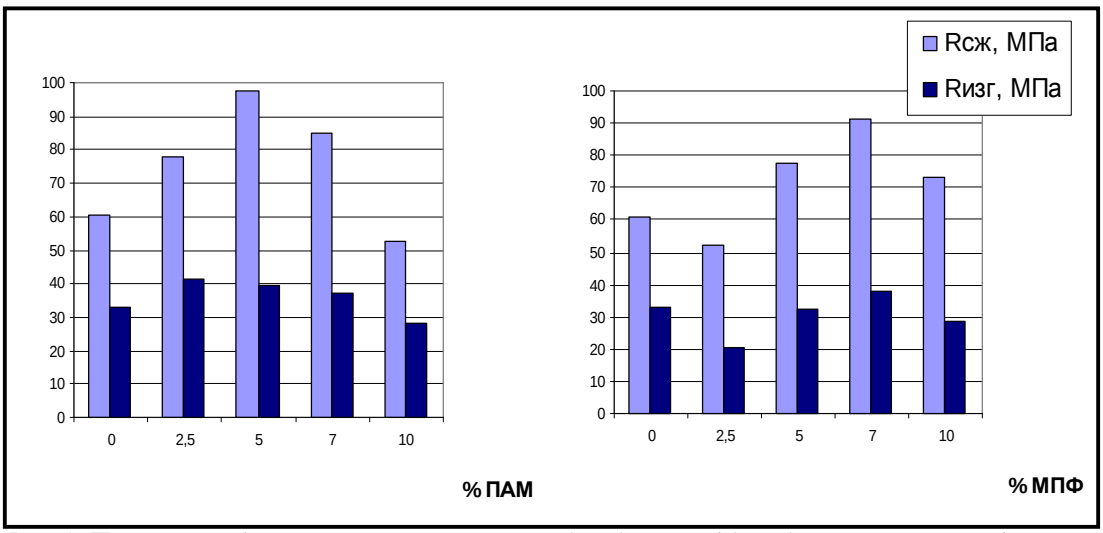


Рис. 3. Прочность образцов керамики на сжатие (Rсж) и изгиб (Rизг) при введении добавок.
Температура обжига 1100 єС

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

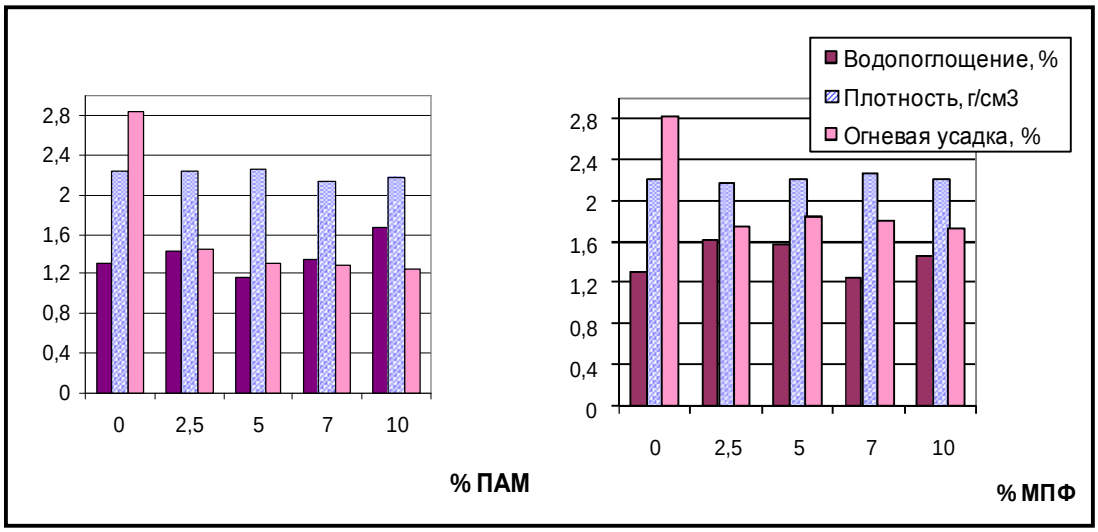


Рис. 4. Физико-механические характеристики образцов керамики при введении добавок. Температура обжига 1100 єС.

Установлено также, что предел прочности при сжатии образцов, обожженных до температуры 900 єС, составляет от 20 до 36 МПа (без добавок – 13 МПа), при изгибе – от 10 до 17 МПа (без добавок – 5 МПа). Для образцов, обожженных до температуры 1000 єС, предел прочности при сжатии составляет от 27 до 39 МПа (16 МПа), при изгибе – от 14 до 18 МПа (7 МПа). При дальнейшем увеличении температуры спекания до 1100 єС наблюдается более значительное увеличение прочностных характеристик опытных образцов. Так, предел прочности при сжатии составляет 77-97 МПа (60 МПа без добавок), а при изгибе 32-39 МПа (30 МПа без добавок).

Отмечено, что повышение температуры обжига заметно влияет на плотность керамического черепка (увеличивается до 2290 кг/м^3 при 7 % МПФ) и водопоглощение (снижается до 1,25 % при 10 % ПАМ) (рис. 4). Применение добавок в сочетании с высокой температурой обжига (до 1100єС) позволяет получать износостойкие изделия (до 2,2 кг/м^2) повышенной прочности, отвечающие требованиям Европейского стандарта, предъявляемым к клинкерной керамике. Образцы, изготовленные без добавок металлических порошков и спеченные при температуре 1100 єС, имеют оплавленные грани и стеклообразную пленку на поверхности, что не позволяет отнести их к кондиционным изделиям.

По результатам физико-механических испытаний был проведен анализ структуры некоторых образцов на фотометрическом комплексе ПОЛАМ-312. Были отобраны образцы, обожженные при температуре до 1100 ^{o}С, следующих составов: шлиф №1 – глина Калининская 100 %; шлиф № 2 – с добавкой 5 % ПАМ; шлиф № 3 – с добавкой 7% МПФ.

Влияние добавки металлического порошка на структуру опытных образцов представлено в таблице 3.

Таблица 3

Основные показатели изменения структуры опытных образцов

Основные компоненты структуры	Исследованные составы		
	Шлиф № 1 без добавки	Шлиф № 2 добавка 5 % ПАМ	Шлиф № 3 добавка 7 % МПФ
Спекшаяся масса	55-57	52-55	40-45
Псаммито-алевритовый материал	30-32	32-34	38-40
Стекловидное вещество	5-7	12-14	15-17
Поры	5-7	1-2	3-5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В шлифе № 1 выделяются следующие основные компоненты: спекшаяся масса – 55-57 %, обломочный песчано-алевритовый материал – 30-32 %, стеклофаза – 5-7 %, полости (поры) – 5-7 %. Спекшаяся масса представляет собой окрашенное в красно-коричневый цвет криптокристаллическое минеральное вещество, в котором только при очень сильном увеличении можно наблюдать пятна спекшейся массы сильно ожелезненной (гематит, лимонит) и небольшие участки полупрозрачного стекловидного вещества. Примечательной особенностью стекловидного вещества является обилие в нем мельчайших газовых пузырьков.

В шлифе № 2 значительная часть керамики (52-55 %) приходится на спекшееся вещество, тогда как 32-34 % приходится на псаммите-алевритовый обломочный материал и, наконец, 12-14 % составляют выделения стекловидного вещества, поры – 1-2 %. Спекшаяся масса отличается значительной неоднородностью. В этом шлифе, как и в предыдущем, к зернам кварца приурочены выделения стекловидного вещества. Но есть и самостоятельные выделения стекловидного вещества, имеющие сложные очертания. Стекловидное вещество бесцветное, прозрачное. По распространенности оно несколько уступает сильно ожелезненной спекшейся массе.

Керамика шлифа № 3 существенно отличается от керамики, описанной в шлифах № 1 и 2. Керамика в описываемом шлифе сложена спекшимся веществом – 40-45 %, псаммито-алевритовым обломочным материалом – 38-40 %, выделениями стекловидного вещества – 15-17 %, порами – 3-5 %. Спекшаяся масса, представляющая в шлифе базис, в отличие от такого же базиса в ранее описанных шлифах, почти целиком состоит из сильно ожелезненного (гематит, лимонит) криптокристаллического вещества.

В нем, в отличие от ранее описанных шлифов, широко распространены мелкие (0,03-0,2 мм), почти идеальные круглые обособления стекловидного вещества. Оно совершенно прозрачно и содержит немногочисленные газовые пузырьки. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что добавка металлического порошка к легкоплавкой глине позволяет увеличить количество стеклофазы, выполняющей роль каркаса и придающей изделию более высокие физико-механические характеристики [4].

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность изготовления качественной клинкерной керамики на основе легкоплавкой глины с добавками металлических порошков, с достаточным уровнем физико-механических характеристик по полусухой технологии приготовления формовочной массы. Применение в качестве добавки порошкообразных металлов в количестве до 7 % позволяет улучшить спекание образцов за счет образования в керамике новых фаз и увеличить механические характеристики изделий в 1,5-2,5 раза, повысить плотность в 1,1-1,2 раза и снизить водопоглощение в 1,4-1,7 раза, по сравнению с образцами, изготовленными без добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кингери У.В. Введение в керамику. – М.: Стройиздат, 1967. – 499 с.
2. Бакунов В.С., Лукин Е.С. Особенности высокоплотной технической керамики. Активность оксидных порошков при спекании // Стекло и керамика, 2008, № 11. – С. 21-25.
3. Гегузин Я.Е. Физика спекания. – М.: Наука, 1984. – 311 с.
4. Мустафин Н.Р., Ашмарин Г.Д. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов // Строительные материалы, 2006, № 1. – С. 32-33.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.311(045)
Ю.В. Токарев – старший преподаватель
Г.И. Яковлев – доктор технических наук, профессор
E-mail: tokarev_01@list.ru
Ижевский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ АЛЮМООКСИДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты исследования влияния ультрадисперсных добавок на свойства и структуру ангидритовых вяжущих, полученных при помощи механических испытаний, рентгенофазового, дифференциально-термического, ИК-спектрального анализов и растровой электронной микроскопии.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ангидритовые вяжущие, свойства и структура, модифицирование.

Y.V. Tokarev – senior lecturer
G.I. Yakovlev – doctor of technical sciences, professor
Izhevsk State Technical University

THE INFLUENCE OF ALUMINA DISPERSE ADDITIVES ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE ANHYDRITE BINDER

ABSTRACT

The influence of ultradisperse additives on the properties and structure of anhydrite binder by means of mechanical tests, X-ray phase analysis, differential thermal analysis, infrared analysis and raster electron microscopy was investigated.
KEYWORDS: anhydrite binders, properties and structure, modification.

В отрасли строительной индустрии, наряду с традиционными вяжущими, необходимо развитие бесцементных минеральных вяжущих. Актуальность увеличения доли композиционных малоклинкерных веществ определяется необходимостью внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий и решения проблем вопросов экологии. Развитие гипсовых вяжущих в последние годы идет по двум направлениям: использование гипсосодержащих отходов в производстве композиционных строительных материалов [1] и улучшение свойств гипсовых вяжущих, среди которых можно выделить вяжущие на основе природного ангидрита [2, 3], не требующие при производстве обжига.

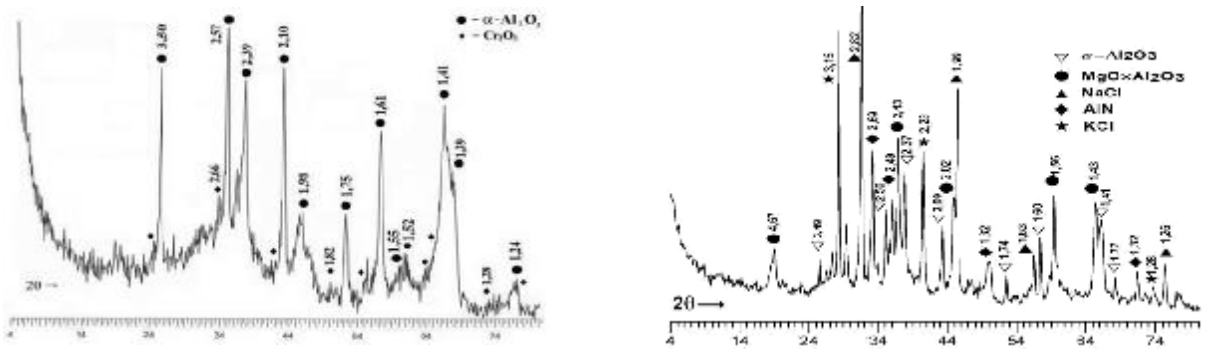
Улучшение свойств вяжущих на основе сульфата кальция может достигаться либо различными технологическими приемами (прессование, вибропрессование) [4, 5], либо введением химических [6] и минеральных добавок [7]. Введение добавок – наиболее перспективный способ, позволяющий изменять морфологию гидратных фаз в сторону образования более мелкодисперсных кристаллогидратов с достижением повышенных характеристик материала [8, 9]. Подбор добавок производится в основном эмпирическим путем, в связи с чем необходимо развитие основ применения добавок, кроме того, не до конца ясен механизм их действия на свойства и структуру вяжущего.

В работе были использованы ангидритовая порода Ергачевского месторождения и алюмооксидные дисперсные добавки различного происхождения. Алюмохромовый катализатор (АХК) – ультрадисперсный отход производства со средним размером частиц 3-5 мкм. Химический состав алюмохромового катализатора (в % по массе): Al_2O_3 – 68.90; Cr_2O_3 – 17.40; SiO_2 – 9.23; SO_3 – 3.11; CaO – 0.92; MgO – 0.34; K_2O – 0.10, кроме того, присутствует аморфная фаза. Глиноземистая смесь (СГ) – ультрадисперсный порошок с размером частиц 2-3 мкм, образующийся в качестве отхода на металлургическом предприятии. Химический состав глиноземистой смеси (в % по массе): $A1_2O_3 \geq 60$; $SiO_2 \leq 10$; $MgO \leq 5$; CaO – 2; $MnO \leq 0,2$; $A1 \leq 10$; $Fe \leq 2$; $Pb \leq 0,2$; $S \leq 0,2$; $P \leq 0,02$. В составе добавки присутствует аморфная фаза. Ставролит – порода метаморфического происхождения с химической формулой $Fe(OH)_2.2Al_2SiO_5$ и удельным весом 3,70-3,95 г/см^3. Химический состав: $A1_2O_3$ – 55,90; SiO_2 – 26,30; Fe_2O_3 – 15,80; H_2O – 2.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Качественный рентгенофазовый анализ исходных материалов и модифицированных образцов проводился на дифрактометре ДРОН-3 с использованием методом порошка. При дифференциально-термическом анализе модифицированных композиций использовался дериватограф DIAMOND TG/DTA. Для ИК-анализа образцов применялся ИК-Фурье спектрометр «Spectrum 100» с приставкой НПВО в области частот 4000-450 $см^{-1}$. Для изучения микроструктуры ангидритовой матрицы использовались электронные микроскопы JSM 5600 и JSM 7500 FA фирмы «JEOL» и FEI Quanta 200. В качестве вяжущего использовался природный ангидрит Ергачевского месторождения, молотый до фракции 80 мкм, из которого изготавливались образцы-балочки размером 40Ч40Ч160 мм с водо-ангидритовым отношением 0,20-0,25.

Качественный рентгенофазовый анализ АХК показал, что в минералогическом составе алюмохромового катализатора, кроме кристаллической фазы б-Al_2O_3 ($d_б$ = 3,50; 2,57; 2,39; 2,10; 1,98; 1,75 Е) и Cr_2O_3 ($d_б$ = 2,66; 1,82; 1,52; 1,28 Е), присутствует аморфная фаза, проявляющаяся на спектре в виде «горбушки» в области 2и = 24 – 44 ^{0} (рис. 1а).

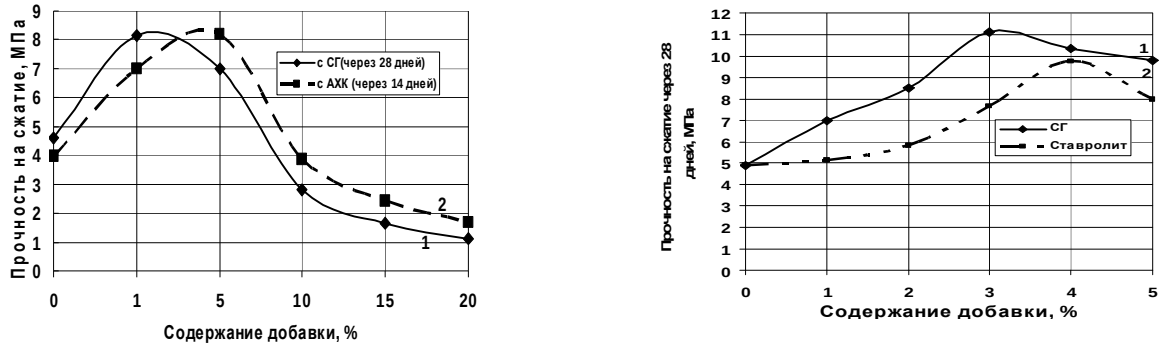


а) б)

Рис. 1. Рентгеновские спектры дисперсных добавок:
(а) – алюмохромовый катализатор; (б) – глиноземистая смесь

В минералогическом составе глиноземистой смеси (рис. 1б) имеются отражения, соответствующие б-Al_2O_3 ($d_б$ = 3,49; 2,56; 2,37; 2,09; 1,74; 1,60; 1,41; 1,37 Е), Mg0ЧAl_2O_3 ($d_б$ = 4,67; 2,43; 2,02; 1,56; 1,43; 1,32 Е). Также имеются отражения значительной интенсивности, соответствующие NaCl и KCl ($d_б$ = 3,15; 2,82; 2,23; 1,997; 1,63; 1,28; 1,26 Е). Также присутствует аморфная фаза, проявляющаяся на спектре в виде «горбушки» в области 2и = 24 – 44^0.

На первом этапе исследований модифицирующие добавки вводились в количестве от 0 до 20 %. Анализ механических свойств ангидритовых вяжущих, модифицированных АХК и СГ, позволяет говорить о существенном повышении прочности на сжатие исследуемых материалов (рис. 2а). Так, при использовании алюмохромового катализатора происходит повышение прочности до 100 % с оптимальным содержанием добавки в интервале 1-5 %. При введении глиноземистой смеси, химический состав которой по содержанию Al_2O_3 отличается незначительно, но дисперсность частиц выше, установлено оптимальное содержание добавки в пределах 1 %, при этом прочность повышается до 70 %. При содержании добавок в составе вяжущего более 5 % происходит резкое снижение прочности материала.



а) б)

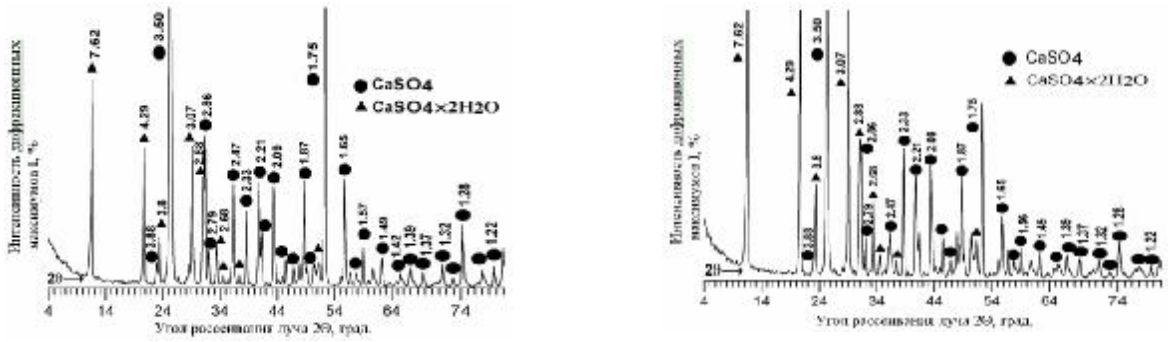
Рис. 2. Зависимость прочности ангидритовых вяжущих от содержания добавок: (а) – в интервале от 0 до 20 %;
1 – глиноземистая смесь, 2 – алюмохромовый катализатор; (б) – в интервале от 0 до 5 %;
1 – глиноземистая смесь, 2 – ставролит

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

На рис. 2б приводятся результаты механических испытаний ангидритовых составов с СГ и молотым ставролитом. Как видно из рисунка, оптимальное значение добавки для СГ составляет 3 % с увеличением прочности на сжатие более чем в два раза, а для ставролита, характеризующегося значительно меньшей дисперсностью частиц, оптимальное значение соответствует 4 % с приростом прочности до 90 %. Меньший прирост прочностных характеристик образцов с добавлением молотого ставролита связан с достаточно крупными (до 80 мкм) частицами, по сравнению с размерами частиц СГ.

Результаты механических испытаний образцов с введением ультрадисперсных добавок могут быть объяснены с позиций синергетики дисперсно-наполненных композиций [10]. При введении небольших количеств добавок, содержащих оксид алюминия, в ангидритовые композиции отмечается монотонное повышение прочности материала, но при переходе через оптимальный порог в дальнейшем наблюдается резкое падение прочности ангидритовой матрицы. Эти процессы объясняются образованием структурированных оболочек вокруг вводимых дисперсных добавок, обеспечивающих ангидритовой матрице формирование повышенной плотности структуры и существенное повышение прочности. Снижение прочности при больших концентрациях добавок (для СГ более 3 %, для ставролита более 4 %) объясняется недостатком вяжущего для формирования структурированных оболочек вокруг дисперсных частиц добавок.

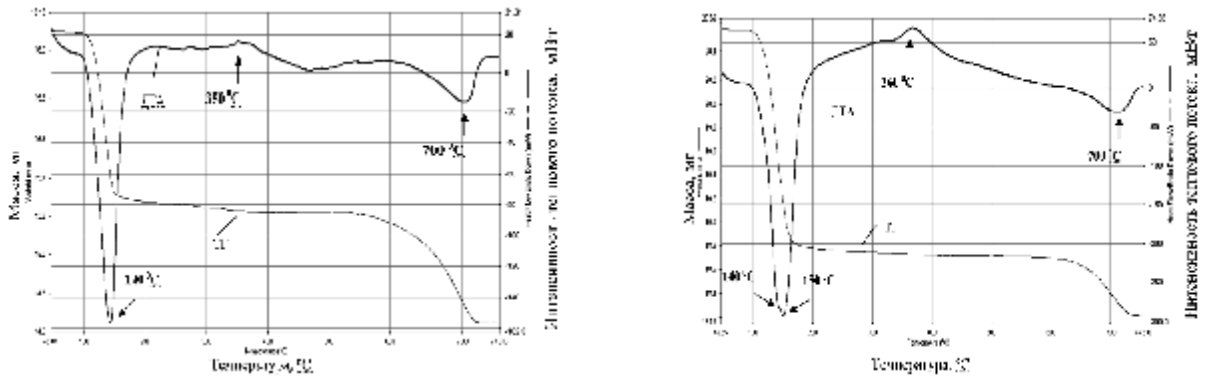
На рис. 3а и 3б показаны соответственно рентгеновские спектры образца без добавок и с добавлением алюмохромового катализатора. При сравнении спектров на рис. 3 б можно видеть снижение интенсивности отражений ангидрита ($d_б$ = 3,50; 1,75Е) и увеличение отражений двуводного гипса ($d_б$ = 7,62; 4,29; 3,07 Е). Аналогичная картина наблюдается и при введении других исследуемых добавок. Это позволяет говорить об интенсификации процессов гидрато- и структурообразования при введении дисперсных наполнителей.



а) б)

Рис. 3. Рентгеновские спектры ангидритовых образцов:
(а) – без добавок; (б) – с добавлением алюмохромового катализатора

Дифференциально-термический анализ минеральных матриц без добавок (рис. 4 а) показал наличие большого эндотермического пика с максимумом при 140 ^{0}С, связанного с удалением кристаллизационной воды при дегидратации двуводного гипса. При нагревании до 350 ^{0}С происходит перестройка кристаллической решетки с образованием нерастворимого ангидрита, что проявляется на термограмме слабым экзотермическим пиком. Второй по величине эндотермический эффект при 700 ^{0}С связан с диссоциацией ангидрита на CaO и SO_3.



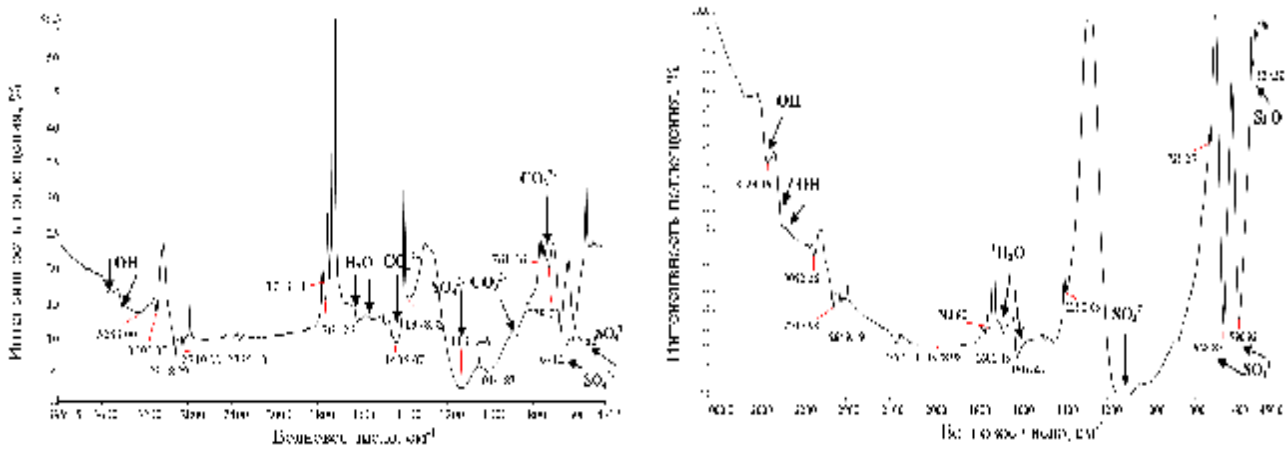
а) б)

Рис. 4. Термограммы ангидритовой матрицы:
а) – без добавки; б) – с добавлением алюмохромового катализатора

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

При введении алюмохромового катализатора на термограмме (рис. 4 б) появляется двойной эндотермический эффект: при 140 ^{0}С, соответствующий удалению 1.5 молекул воды и при 150 ^{0}С, связанный с удалением оставшейся влаги. Общие потери в массе образца с добавлением алюмохромового катализатора составили 11.4 %, тогда как в контрольных образцах потеря массы не превысила 8.2 %. При 360 ^{0}С появляется значительный по интенсивности экзотермический пик, появление которого связано с повышенным содержанием двуводного гипса. При добавлении глиноземистой смеси и ставролита появляются новые эндотермические эффекты. Появление на термограмме образца с добавлением глиноземистой смеси эндотермического пика с максимумом эффекта при 230 ^{0}С вызвано частичным удалением воды из гидраргиллита $Al_2O_3ЧЗH_2O$, имеющегося в составе глиноземистой смеси согласно минералогическому составу. При добавлении ставролитового порошка появляется эндотермический эффект, растянутый в интервале температур 400-600 ^{0}С. Этот пик, вероятно, связан с действием добавки, на термограмме которой можно увидеть крупный эндотермический эффект при 400-600 ^{0}С.

ИК-спектральный анализ минеральных матриц на основе сульфата кальция без добавки (рис. 5 а) показал на спектре полосы поглощения с волновыми числами 595.82, 671.27 и 1139.46 см$^{-1}$, обусловленные наличием иона SO_4^{2-}, полосы с волновыми числами 728.72, 879 и 1436.07 см$^{-1}$, обусловленные наличием группировки CO_3^{2-}, две полосы поглощения в интервале 1600-1700 см$^{-1}$, вызванные деформационными колебаниями молекул воды, а также колебания в интервале частот 3200-3800 см$^{-1}$, связанные с симметричными и ассиметричными валентными колебаниями ОН-групп в молекулах воды. При добавлении алюмохромового катализатора на ИК-спектре (рис. 5 б) увеличивается относительная интенсивность полос, связанных с наличием ионов SO_4^{2-} (596.93, 668.85 и 1139 см$^{-1}$), интенсивность деформационных колебаний адсорбированной воды (1616.47, 1681.46 см$^{-1}$) и симметричных и ассиметричных валентных колебаний ОН-групп в молекулах воды (3200-3800 см$^{-1}$). Аналогичная картина наблюдается при добавлении глиноземистой смеси и ставролита.

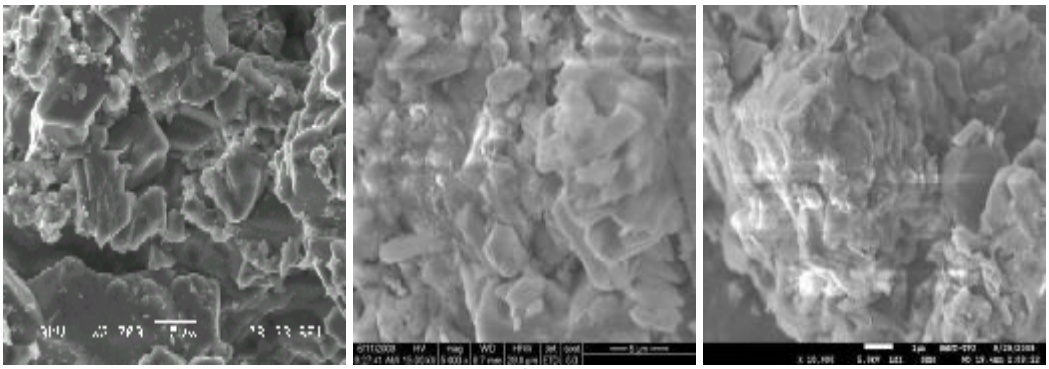


а) б)

Рис. 5. ИК спектры ангидритовой матрицы:
а) – без добавки; б) – с добавлением алюмохромового катализатора

Принимая во внимание то, что увеличивается содержание кристаллизационной воды, о чем можно судить по увеличению интенсивности деформационных и валентных колебаний в интервале 1600-1700 см$^{-1}$ и 3200-3800 см$^{-1}$, и сопоставляя результаты ИК-анализа с результатами рентгенофазового анализа, можно заключить, что увеличение интенсивности полос, вызванных наличием ионов SO_4^{2-} на ИК-спектрах, связано с повышением в образцах содержания двуводного гипса. Кроме того, при введении ультрадисперсных добавок отмечается сдвиг частот, соответствующих ионам SO_4^{2-}, который объясняется тем, что изменяются условия образования связи с участием гидроксильной группы добавка и принимает непосредственное участие в формировании кристаллитных структур.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

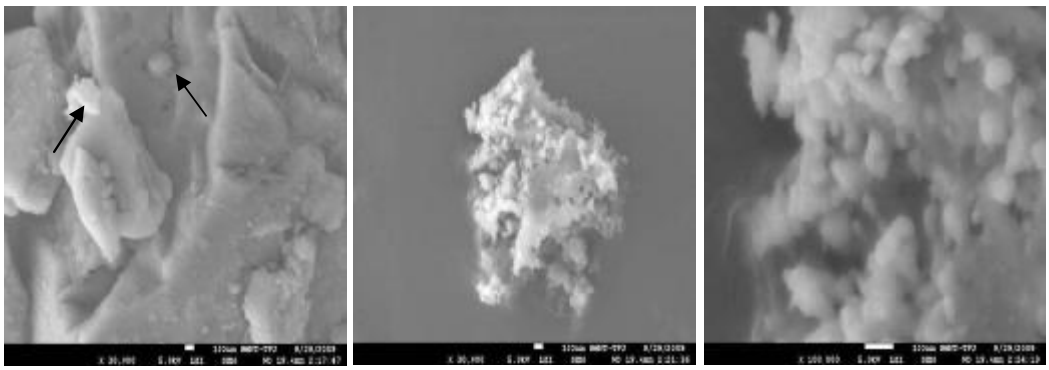


а) б) в)

Рис. 6. Микроструктура ангидритовой матрицы:
(а) – без добавок; (б) – с добавлением глиноземистой смеси; (в) – с добавлением ставролита

При отсутствии ультрадисперсных добавок образуется неупорядоченная структура, состоящая из крупных кристаллов гипса с контактами срастания в отдельных точках. Формирование крупных кристаллов с высокой дефектностью приводит к появлению крупных пор в структуре образца, что увеличивает общую пористость и снижает количество контактов между кристаллитными новообразованиями (рис. 6а).

На рисунке 6б показана микроструктура ангидритовой матрицы с добавлением глиноземистой смеси. Можно отметить, что здесь образуется более плотная мелкокристаллическая структура с отсутствием крупных пор, в отличие от контрольного состава. Такая структура способна обладать повышенной прочностью и долговечностью. При добавлении ставролита наблюдается упорядоченная мелкокристаллическая структура со слоистым напластованием кристаллов (рис. 6в), что приводит к увеличению площади контактов между кристаллами, снижению пористости и повышению прочностных характеристик композиционного материала.



а) б) в)

Рис. 7. Микроструктура ангидритовой матрицы с добавлением АХК: (а) – стрелками показаны аморфные новообразования, заполняющие поры и пустоты; (б) и (в) – высокодисперсные аморфные новообразования

При добавлении алюмохромового катализатора образуется упорядоченная мелкокристаллическая структура с более плотной упаковкой кристаллов, обеспечивающей увеличение площади контактов между кристаллитными структурами, что приводит к повышению прочности матрицы (рис. 7а). В структуре ангидритовой матрицы также обнаруживаются высокодисперсные аморфные новообразования со средним размером около 100 нм (рис. 7 б и в), которые увеличивают площадь контактов как между кристаллами, так и за счет заполнения пустот между ними, что позволяет дополнительно повысить механические характеристики материала.

Таким образом, ультрадисперсные добавки принимают активное участие в структурообразовании и приводят к образованию более плотной мелкокристаллической структуры, формирование которой способствует возникновению меньших напряжений между кристаллами, увеличению площади контактов между ними, повышению плотности структуры и, в конечном результате, увеличению механических показателей ангидритовых матриц не менее чем на 70 %.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирсаев Р.Н., Юнусова С.С., Анваров Р.А., Латыпова Е.Ю. Получение стеновых изделий на основе фосфогипса // Строительные материалы, 2004, № 5. – С. 55.
2. Гайнутдинов А.К. Эффективные сухие штукатурные и напольные смеси на вяжущих из природного ангидрита. Автореф… канд. техн. наук. – Красково, 2007. – 19 с.
3. Будников П.П., Зорин С.П. Ангидритовый цемент. – М.: Промстройиздат, 1954. – 90 с.
4. Doroshenko A., Doroshenko Y. Modification of gypsum pressed articles with polymeric admixtures. In 15. Internationale Baustofftagung «Ibausil». Tagungsbericht-Band 1. Weimar, 2003. – P. 989-992.
5. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Модифицированные гипсовые дисперсные системы негидратационного твердения // Строительные материалы, 2008, № 3. – С. 76-77.
6. Шленкина С.С. Совершенствование технологии и повышение качества гипсовых изделий с использованием пластификаторов различной природы. // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – СПб., 2007. – 25 с.
7. Алтыкис М.Г., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Морозов В.П., Бахтин А.И. Влияние карбонатных наполнителей на свойства ангидритового вяжущего // Изв. вузов. Строительство, 1998, № 2. – С. 51-53.
8. Колкатаева Н.А. Гипсополимерная композиция для изготовления стеновых и теплоизоляционных материалов // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – М., 2007. – 21 с.
9. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков В.А., Макарова И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // Строительные материалы, 2008, № 3. – С. 70-72.
10. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Авдеев Р.И., Соломатов В.И. Синергетика дисперсно-наполненных композитов. – М.: ЦКТ, 1999. – 252 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 543.544
Е.С. Перикова – кандидат технических наук, доцент
E-mail: sun-2007@list.ru
А.А. Карташова – студент
В.Ф. Новиков – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет
А.В. Танеева – кандидат химических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

АННОТАЦИЯ
Разработан способ оценки экологического состояния воздушной среды жилых и производственных помещений с использованием линейно-колористического метода анализа. Найдено, что в производственном помещении, в котором проходят лекционные занятия со студентами, наблюдаются высокие концентрации приоритетных загрязнителей воздушной среды.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушная среда, экологический мониторинг, концентрация, методика анализа, организм человека, соединения.

E.S. Perikova – candidate of technical sciences, associate professor
A.A. Kartashova – student
V.F. Novikov – doctor of chemical sciences, professor
Kazan State Power Engineering University
A.V. Taneeva – candidate of chemical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

ECOLOGICAL SAFETY PROBLEMS OF INHABITED AND INDUSTRIAL PREMISES

ABSTRACT
The method of the analysis of an estimation of ecological condition of air environment of inhabited and industrial premises with use linear-colored technique is developed. The high concentrations priority pollutants of air environment are observed in an industrial premise, in which pass lecture employment with the students.
KEYWORDS: air environment, ecological monitoring, concentration, technique of the analysis, organism of the man, connection.

Как известно, одним из наиболее важных показателей санитарно-эпидемиологического благополучия любого региона является состояние здоровья населения. Атмосферный воздух, которым мы постоянно дышим, является неотъемлемой частью среды обитания. Поэтому уровень загрязнения атмосферного воздуха формируется в зависимости от состава и технологических параметров газовых выбросов от стационарных и мобильных источников, режима метеорологических условий и перемещения загрязняющих веществ в пределах территории города или региона [1].

В жилых и производственных помещениях существует один источник загрязнения атмосферного воздуха, заключающийся в выделении из полимерных строительно-отделочных материалов различных токсичных соединений. При этом было установлено, что во многих случаях существует синдром «больного» здания, официально зарегистрированный Всемирной организацией здравоохранения. Это комплекс неспецифических симптомов, которые провоцируются неудовлетворительным качеством воздушной среды жилых и производственных помещений. К ним относятся: недомогание, головные боли, головокружение, хроническая усталость, раздражение и сухость глаз, слизистых оболочек дыхательных путей и кожи, частые простудные заболевания организма человека [2].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как известно, человек приспосабливается к условиям окружающей среды, и его жизнь можно рассматривать как постоянную адаптацию к этим условиям. В настоящее время установлено, что значительная часть болезней человека связана с ухудшением экологической обстановки в среде обитания. При этом, приспосабливаясь к неблагоприятным экологическим условиям, организм человека постоянно испытывает состояние напряжения и физического утомления. Утомление здорового человека может возникать в результате перераспределения резервных функций организма с восстановлением исходной работоспособности после отдыха, что обычно происходит в жилой среде, где он проводит большую часть своего времени [4].

Поэтому инженерные системы и оборудование должны обеспечивать здоровый микроклимат в помещении, удобное пользование и экономное расходование природных и техногенных ресурсов.

Особенно важным является влияние негативных факторов окружающей среды, так как они напрямую связаны с оценкой риска здоровья населения. В плане интенсификации жилищного строительства в Республике Татарстан появляется большое количество «больных» зданий, в которых люди часто жалуются на повышенную утомляемость, снижение работоспособности, головную боль, что связано в первую очередь с нарушением качества внутренней среды жилых помещений. Влияние неблагоприятных факторов проявляется в риске повышения заболеваемости человека, развитии изменений предпатологического характера, которые оказывают в целом существенное влияние на формирование показателя здоровья населения [5].

Экологически безопасная и чистая жилая среда – это такой объект, который может полностью защитить организм человека от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Одним из основных принципов обеспечения оптимальной жилой среды является гарантированная безопасность для здоровья человека в отношении негативных факторов, воздействующих на него в здании. Параметры жилой среды должны гарантировать сохранение здоровья и работоспособности человека в течение всего периода его жизни.

Для получения достоверной информации об экологическом состоянии атмосферного воздуха жилой и производственной среды необходимо наладить систему аналитического экологического мониторинга, что связано с определенными трудностями: малой доступностью аналитической аппаратуры, а также недостатком методического обеспечения при анализе примесных соединений в атмосферном воздухе жилых и производственных помещений [7-8].

В настоящее время установлено, что в атмосферном воздухе жилой и производственной среды возможно присутствие более 400 различных по химической природе соединений, на многие их которых не установлены нормы ПДК, поэтому они не контролируются и их влияние на здоровье человека оказывается неучтенным.

В странах Европы и США параметры регламентируются по двум основным направлениям. С одной стороны, качество воздушной среды в вентилируемом пространстве должно обеспечивать безопасность для здоровья человека. С другой, не вызывать раздражения органов чувств и гарантировать комфортность ощущений при длительном пребывании людей в данном пространстве. В России отсутствуют гигиенические нормы, комплексно регулирующие качество среды обитания в жилых и производственных помещениях [3].

Поэтому идентификация реальных спектров анализируемых веществ является достаточно актуальной задачей, так как направлена на решение вопросов контроля качества атмосферного воздуха жилых и производственных помещений с оценкой реальной химической нагрузки на организм человека и состояние его здоровья. Решение данной проблемы существенно облегчит поиск источников загрязнений, оценку эффективности и безопасности новых строительных материалов и технологий их производства, а также проведение различных мероприятий, направленных на оздоровление окружающей среды.

Как известно, выдыхаемый организмом человека воздух, кроме азота, кислорода, паров воды и диоксида углерода, содержит также целый ряд соединений, присутствующих в небольших количествах, многие из которых довольно токсичны и способны загрязнять окружающую воздушную среду жилых и производственных помещений [9].

Один из путей решения вышеуказанных задач заключается в оценке качества атмосферного воздуха жилых и производственных помещений и влияния на него различных факторов окружающей среды, в том числе и жизнедеятельности человека. К одним из основных показателей качества атмосферного воздуха относится наличие в нем загрязняющих веществ различной химической природы, концентрация которых определяется различными физико-химическими методами.

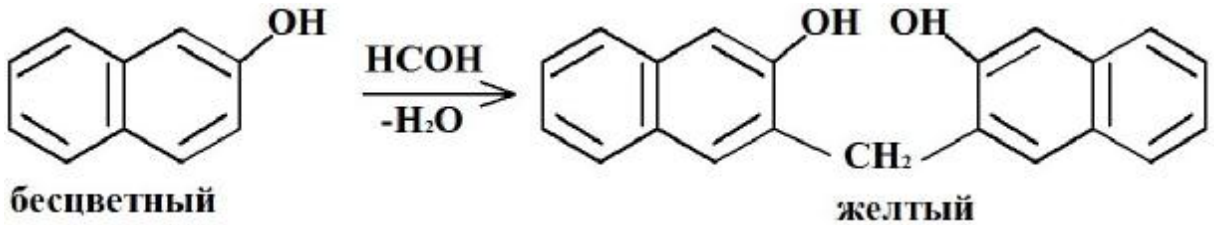
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

К одним из наиболее простых и экспрессных способов определения приоритетных загрязнителей воздушной среды относится линейно-колористический метод. Нами была разработана методика анализа воздушной среды жилых и производственных помещений, основанная на линейно-колористическом методе с использованием индикаторных трубок, обладающих селективностью к определенным компонентам. Их преимущество заключается в экспрессности определения анализируемого вещества, доступности и сравнительно небольшой стоимости [10].

Процессы, протекающие в индикаторной трубке при пропускании пробы анализируемого воздуха, протекают на границе раздела фаз. Разделяемые компоненты содержатся в газовой фазе, а неподвижная твердая фаза состоит из зерен сорбента, которые заполняют индикаторную трубку. В индикаторной трубке «проявление» происходит в результате колористической реакции анализируемого компонента с индикаторным порошком. Молекулы исследуемого компонента пробы перемещаются по индикаторной трубке путем просасывания через нее потока воздуха наполнителя. В процессе сорбции часть молекул исследуемого вещества адсорбируется или вступает в химическую реакцию с реактивом, нанесенным на поверхность твердого носителя [10-12].

Несвязанные молекулы исследуемого вещества увлекаются потоком просасываемой пробы и в дальнейшем вступают во взаимодействие со свежей поверхностью реактива, закрепленной на индикаторном порошке. Минимальная концентрация газа, которая может быть измерена по длине изменившего окраску столбика индикаторного порошка, определяет чувствительность индикаторной трубки. При понижении хемосорбционной емкости индикаторного порошка чувствительность индикаторной трубки повышается. При этом увеличивается длина окрашенного столбика, но уменьшается интенсивность окраски и четкость границ изменившего окраску слоя порошка. Длина изменившего окраску столбика индикаторного порошка зависит также от скорости диффузии газа через слой продуктов реакции к свежей поверхности реактива, т.е. от его физико-химических свойств и условий протекания химической реакции [13-15].

Для определения формальдегида используют реакции конденсации, так как он легко вступает в реакцию с ароматическими соединениями в кислой среде с образованием интенсивно окрашенных хиноидных соединений различной молекулярной структуры. При этом в индикаторной трубке для измерения концентрации формальдегида в конденсацию с ним вступает в-нафтол, что приводит к изменению цвета индикаторного порошка до желтого.



Для определения фенола, винилхлорида и диоксида углерода используют окислительно-восстановительные и кислотно-основные реакции.

Экспериментальную часть работы проводили в учебном помещении, где студенты в количестве 20 человек прослушивали курс лекций на протяжении двух академических часов или 90 мин. Отбор пробы воздуха осуществлялся в центре помещения на уровне дыхательных путей человека на высоте 1,2 м. Лекционная аудитория имела следующие параметры: высота – 3,5 м, площадь – 46 кв. м, объем помещения – 160 куб. м.

На рис. 1 приведен график зависимости концентрации приоритетных загрязнителей от времени нахождения людей в помещении.

Предварительно в утреннее время, когда в помещении отсутствовали люди, была замерена концентрация приоритетных загрязнителей воздушной среды, и было выявлено наличие фенола (0,04 мг/л), формальдегида (0,10 мг/л), винилхлорида (0,03 мг/л) и диоксида углерода (0,10 мг/л). Эти концентрации приоритетных загрязнителей были приняты за фоновые, поскольку они имеют практически постоянные величины в различные дни недели и месяца.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

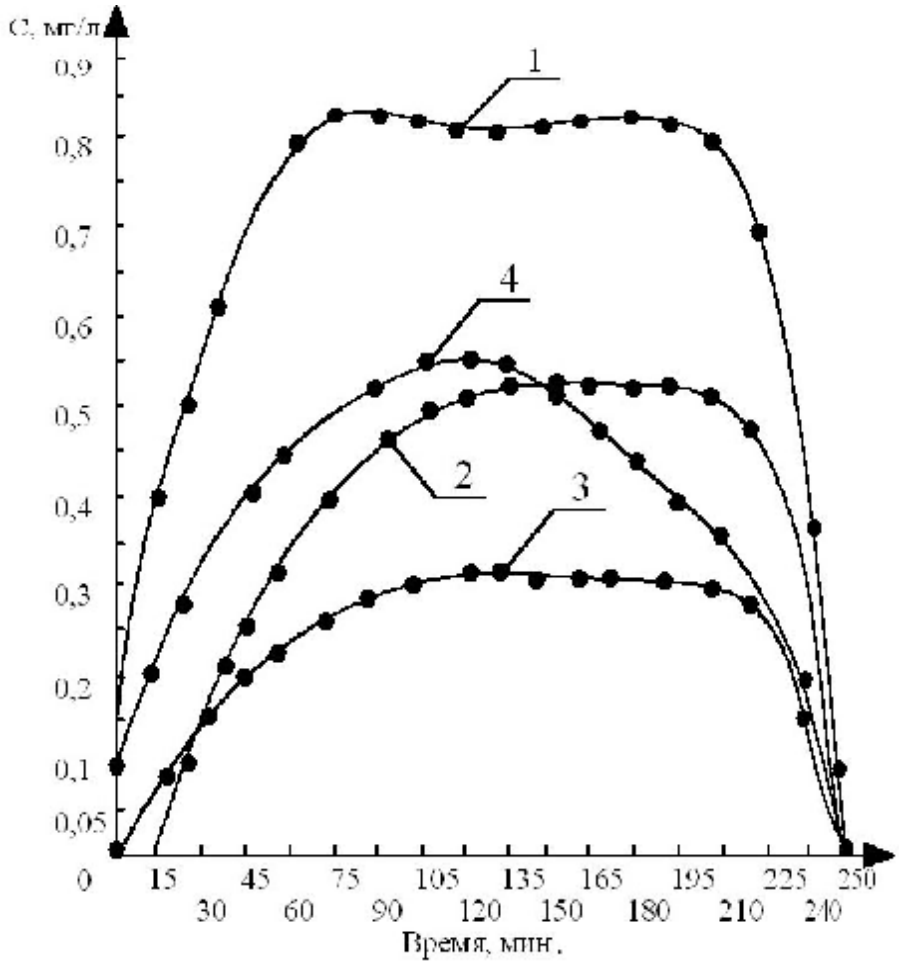


Рис. 1. График зависимости концентрации веществ от времени нахождения людей в помещении:
1 – формальдегид, 2 – фенол, 3 – винилхлорид, 4 – диоксид углерода

Как можно видеть, в исследуемом помещении наблюдается значительное содержание химических загрязнителей, а именно формальдегида, фенола, винилхлорида и диоксида углерода, концентрация которых с течением времени превышает фоновые загрязнения и нормы ПДК, что связано, очевидно, со способностью организма человека выделять вредные вещества в воздушную среду и концентрироваться в ней.

Концентрация всех без исключения веществ возрастает до определенного максимального значения или так называемого состояния насыщения, а после освобождения помещения убывает, доходя до уровня фоновой концентрации.

Как видно из рисунка, концентрация приоритетных загрязнителей окружающей среды существенно зависит от количества людей, присутствующих в производственном помещении, а также от времени нахождения в нем, и с увеличением данных параметров постепенно возрастает, достигает максимума. Так, до проведения лекционных занятий концентрации загрязнителей не достигают величин ПДК, а после окончания занятий – значительно превышают их. Дальнейшие расчеты показали, что выделение вредных химических загрязнителей на одного человека за 1,5 часа в среднем составляет: 0,027 мг/м^3 формальдегида; 0,0135 мг/м^3 винилхлорида; 0,027 об % CO2; 0,027 мг/м^3 фенола.

Таким образом, приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что количество людей в лекционных помещениях оказывает существенно влияние на степень их загрязнения токсичными веществами (антропотоксинами). При этом после проведения учебных занятий, после 250 минут, необходимо проветривать помещение в течение не менее 20 минут для исключения негативного влияния антропотоксинов на организм человека.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды. – Казань: Изд-во Министерства экологии РТ, 2009. – С. 456.
2. Дударев А.А., Крупкин Г.Я., Турубаров В.И., Бурцев С.И., Карцев В.В., Никитина В.Н., Дубейковская Л.С., Маркова О.Л. Комплексный подход к гигиенической оценке и управлению качеством воздушной среды современных офисных помещений // Медицина труда и промышленная экология, 2004, № 1. – С. 37-40.
3. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем (10-й пересмотр). – Женева: ВОЗ, 1998.
4. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. Здоровье и среда, в которой мы живем / Пер. с англ. И.М. Спичкина. – М.: Мир, 1995. – 191 с.
5. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. – СПб., 1997. – 103 с.
6. Березкин В.Г., Татаринский В.С. Газохроматографические методы анализа примесей. – М.: Изд-во Наука, 1970. – 213 с.
7. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте / Пер. с нем. А.Ф. Дашкевича, под ред. П.А. Коузова и В.А. Симонова. – Л.: Химия, 1980. – 342 с.
8. Перегуд Г.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнений атмосферы. – Л.: Химия, 1981. – 382 с.
9. Сотников Е.Е., Волков С.А. Применение газовой хроматографии для анализа газообразных и летучих продуктов выдыхаемого воздуха и крови человека // Итоги науки и техники. Хроматография, 1984, т. 5. – С. 103-140.
10. Петрова Н.М., Муравьев А.Г., Лавриненко А.А., Смолев Б.В. Индикаторные трубки и газоопределители. – СПб., 2005. – 184 с.
11. Симонов В.А. Механизм действия линейно-колористических индикаторных трубок, математическое описание и теоретический расчет градуировочных кривых // Журнал аналитической химии, 1989, т. 44. – С. 1835-1839.
12. Тимофеев Д.П. Кинетика адсорбции. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 280 с.
13. Симонов В.А. Индикаторные трубки для определения микроколичеств уксусной кислоты в воздухе при различной температуре и влажности // Журнал аналитической химии, 1982, т. XXXVII, вып. 12. – С. 2225-2229.
14. Колесник М.И., Жуков В.И., Буковский М.И. Методика определения вредных веществ в воздухе индикаторными трубками // Обзорн. информ. сер. Техника безопасности. – М.: НИИТЭХИМ, 1983.
15. Симонов В.А., Филянская Е.Д., Стругова Н.А. Методические указания по быстрому определению вредных веществ в воздухе производственных помещений. – Л.: ВНИИ охраны труда ВЦСПС, 1974. – 65 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 691.33
А.В. Синкевич – инженер
E-mail: andrei_sinkevich@mail.ru
Казанский государственный энергетический университет

ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

АННОТАЦИЯ

В работе обобщаются исследования в области разработки путей снижения негативного воздействия автомобильного транспорта на экологическое состояние окружающей среды. Рассмотрены пути снижения загрязнения окружающей среды от автомобильно-дорожного транспорта, связанные с озеленением природной территории и технологическими приемами их реализации. Предложены конструктивные меры совершенствования строительства земляного полотна и дорожных одежд. Даны практические рекомендации, позволяющие снизить негативное воздействие автомобильного транспорта на окружающую природную среду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уровень загрязнения атмосферного воздуха, защитные мероприятия, многорядные полосы насаждений, совершенствование конструкции и технологии строительства земляного полотна, рациональное потребление природных ресурсов.

A.V. Sinkevich – инженер
Kazan State Power Engineering University

WAYS OF DECREASE OF THE NEGATIVE INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE ENVIRONMENT

АННОТАЦИЯ

In work researches in the field of working out of ways of decrease on negative influence of motor transport on an ecological condition of the environment are generalised. Ways of decrease in environmental contamination from the auto-road transport, connected with gardening of natural territory and processing methods of their realisation are considered. Constructive measures of perfection of building of an earthen cloth and road clothes are offered. The practical recommendations, allowing to lower negative influence of motor transport on surrounding environment are given.

KEYWORDS: level of pollution of atmospheric air, protective actions, multiple-row strips of plantings, perfection of a design and technology of building of an earthen cloth, rational consumption of natural resources.

В промышленных городах в настоящее время ведущее значение в формировании эколого-гигиенических проблем приобрел автомобильный транспорт. Автомобильные дороги разного качества связывают все населенные пункты Республики Татарстан. Протяженность автомобильных дорого общего пользования в республике составляет 14,6 тыс. км, в том числе с асфальтобетонным покрытием 11,3 тыс. км (76,9 %). Соответственно общая плотность сети дорог общего пользования составляет около 215,3 км на 1000 кв. м территории, а плотность автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием 166,7 км на 1000 кв. м территории.

Основу сети автомобильных дорог общего пользования образуют федеральные автомобильные дороги протяженностью 1075 км (7,4 %).

Общая протяженность муниципальных дорог на территории Республики Татарстан составляет 18,286 тыс. км, в том числе с твердым покрытием 10346 тыс. км и 1,51 тыс. км с грунтовым.

Число автомобилей за три-пять лет во многих городах России удвоилось, а кое-где даже утроилось. Республика Татарстан не является исключением, количество автомобильного транспорта в последнее время здесь также увеличилось. Если рассмотреть динамику формирования автомобильного парка г. Казани за последние несколько лет (по данным УГИБДД г. Казани), то наблюдается его значительный рост (2004 году – 144170 единиц, а в 2008 году – 267485 единиц), причем имеет место приоритетный рост числа легковых автомобилей (табл. 1).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблица 1

Сведения о наличии транспортных средств в г. Казани

Год (данные на 01.01)	Легко-вые	Грузо-вые	Авто-бусы	Прицепы	Мото-циклы	Итого		Прирост транспорта по сравнению
						На данный год	На прошедший год	
2004	11920	21176	6178	3423	1473	144170	140214	+2,82 %
2005	120747	21740	6183	3337	663	152670	144170	+5,89
2006	145586	22391	5065	3858	1972	178872	152670	+17,16
2007	179363	22647	4645	4397	643	211695	178872	+18,35
2008	210557	22213	5239	4685	585	243279	211695	+14,92
2009	233530	23459	4817	5099	580	267485	243279	+9,9

Эта тенденция сохраняется и в других промышленных городах Татарстана.

Казань – столица Республики Татарстан с населением более 1 млн. человек – располагается в Среднем Поволжье – крупном природном и экономическом регионе европейской части России.

Историческое расположение города на берегу рек Волги (в настоящее время – Куйбышевское водохранилище) и Казанки относит Казань к портовым городам около крупных рек. В то же время город находится на пересечении авиалиний, железнодорожных и автомобильных магистралей российского значения. В Казани и вблизи нее много промышленных предприятий, вносящих свой вклад в загрязнение города.

В силу этих причин Казань имеет достаточно сложную экологическую ситуацию, оцениваемую как неблагополучную по сравнению со многими крупными городами России. Оценка интенсивности техногенного влияния на окружающую среду (по показателям токсичных выбросов в атмосферный воздух и водоемы отходов производства и т.п.) выявила в Казани 11 критических зон и 3 зоны риска. В частности, к зонам риска с максимальными концентрациями загрязняющих веществ относится северная часть Казани, где действуют такие крупные источники загрязнения, как ОАО «Казаньоргсинтез», ФГУП НПП им. Ленина, НПХФО «Татхимфармпрепараты», ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 ОАО «Татэнерго», на втором месте – южная часть города с промышленным узлом Приволжского района вблизи Волги. Растущее число автотранспортных средств и неприспособленность центра города к пропуску таких потоков обуславливают высокий уровень загрязнения на автомагистралях. В целом, по показателям состояния и привлекательности окружающей среды Казань отстает от ряда крупных городов России и Приволжского федерального округа.

Было выявлено, что экологическую ситуацию усугубляет недостаточная (практически вдвое) по нормативам площадь озеленения города, неблагополучное состояние водных объектов и городских пляжей, несоблюдение режима водоохранных зон, факты отчуждения и застройки ценных природных территорий и акваторий, нерешенность вопросов утилизации отходов, увеличение количества бездомных животных и другие факторы.

В целом, основными экологическими проблемами в Казани в настоящее время являются:

- атмосферное загрязнение в результате деятельности автотранспорта и промышленных предприятий в городской черте;
- неблагополучное качество вод Куйбышевского водохранилища, реки Казанки, малых рек и озер в черте города;
- недостаточно удовлетворительное качество питьевых вод;
- повышение уровня грунтовых вод;
- недостаточное озеленение города;
- рост количества отходов, необходимость их утилизации и переработки;
- неудовлетворительное здоровье населения города;
- снижение уровня экологического воспитания и др.

Казань – город, расположенный в зоне подтопления водами Куйбышевского водохранилища, насыщенный предприятиями химической, нефтехимической, машиностроительной и военно-промышленной отраслей, а также автотранспортом и другими видами сообщений. Концентрация на малой территории значительного антропогенного воздействия и специфичность географического

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

расположения определяют свои, характерные для Казани, экологические проблемы. И в целом Казань имеет достаточно сложную экологическую ситуацию, оцениваемую несколько хуже, по сравнению со многими крупными городами России.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния автомобильных дорог определяется, в основном, характеристиками автомобильного транспорта, его техническими параметрами и состоянием дорожного полотна.

К организационным мерам защиты атмосферного воздуха от загрязнения относятся урегулирование дорожного движения путем исключения частых торможений и ускорения автомобилей, рациональное распределение транспортных потоков по существующей улично-дорожной сети.

Для исключения частых ускорений и торможений транспорта, обеспечения равномерного движения автомобилей необходимы следующие мероприятия:

- строительство подземных и надземных пешеходных переходов;
- организация координированного движения (по типу «зеленая волна»);
- строительство скоростных дорог, изолированных от городской застройки;
- строительство автомобильных развязок в разных уровнях.

Во многих случаях организационные меры снижения степени загрязнения воздушной среды тесно связаны с конструктивными, основанными на совершенствовании проектирования автомобильных дорог.

Следует отметить, что уменьшение загрязнения окружающей среды отработавшими газами автотранспорта происходит также при благоприятных дорожных условиях: уменьшении продольных уклонов, обеспечении видимости на горизонтальных вертикальных кривых, увеличении их радиусов и др. Это приводит к обеспечению высокой эксплуатационной скорости транспортного потока и уменьшению токсичных выбросов.

Защитные мероприятия основаны на том, что некоторые закономерности распространения отработавших газов близки к распространению звука. Поэтому для защиты жилой застройки в придорожной зоне необходимо предусматривать экранирующие стенки, барьеры, грунтовые кавальеры и насыпи, а также располагать в качестве шумо- и пылезащиты в качестве барьеров здания коммунального и бытового назначения, устраивать защитное озеленение и др.

Величина снижения шума и уменьшения распространения токсичных веществ зелеными насаждениями при озеленении зависит от характера посадок, породы деревьев и кустарников, времени года и др.

В частности, полосы, состоящие из нескольких рядов деревьев с разрывами между ними, интенсивнее снижают шум, чем сплошные насаждения с сомкнутыми кронами. Это объясняется тем, что в многорядных полосах насаждений, кроме поглощения и рассеивания шума, появляется еще и эффект многократного отражения звуковых волн поверхностями листвы отдельных рядов. Поэтому необходимо, чтобы кроны деревьев были плотно сомкнуты, а пространство под кронами плотно засажено кустарниками.

В табл. 2 приведены данные по снижению уровня шума зелеными насаждениями [2].

Таблица 2

Снижение уровня шума зелеными насаждениями

Посадка зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня шума, дБА
Однородная при шахматном расположении деревьев внутри полосы	10-15	4-5
То же	16-20	8-10
Двухрядная при расстояниях между рядами 3-5 м; ряды аналогичны однорядной посадке	20-26	8-10
Двух- или трехрядная при расстояниях между рядами 3 м; ряды аналогичны однорядной посадке	26-30	10-12

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Следует отметить, что несмотря на экологические достоинства зеленых насаждений, эффект шумозащиты проявляется лишь через несколько лет после их посадки. Поэтому рекомендуется применять быстрорастущие деревья и кустарники, устойчивые к условиям городской среды. В табл. 2 приведены данные по газо- и шумозащитной эффективности зеленых насаждений.

Шумо-газо-пылезащитные насаждения могут быть использованы в сочетании с земляными валами и экранами. Борьба с вибрационными колебаниями вдоль автомобильных дорог должна вестись с помощью организационных, планировочных и конструктивных мероприятий.

К организационным мероприятиям относятся ограничение скорости и массы транспортных средств, к планировочным – удаление автодорог от зданий и сооружений на безопасное, с точки зрения уменьшения вибрации, расстояние.

Таблица 3

Газо- и шумозащитная эффективность зеленых насаждений

Примеры озеленения	Снижение уровня загрязнения, %	Снижение уровня шума, дБА
Однорядная посадка деревьев с живой изгородью из кустарника шириной 10 м	5-7	4-5
Двухрядная посадка деревьев с жилой изгородью из кустарника шириной 20-30 м	7-15	8-10
Трех-, четырехрядная посадка деревьев с живой изгородью из кустарника шириной 25-30 м	10-15	8-11
Бульвар шириной 70 м (рядовая и групповая посадка деревьев и кустарников)	10-15	6-11

Конструктивные меры заключаются в совершенствовании конструкций и технологии строительства земляного полотна и дорожных одежд. В особых случаях, для защиты от вибрации ценных памятников архитектуры, истории и культуры, примыкающих к дорогам, применяют специальные упругие прокладки.

Обзор и анализ информационных источников по проблемам экологизации автотранспортного комплекса позволяет сделать следующие выводы [3]:

- автомобильный транспорт является основным загрязнителем территорий городов и населенных пунктов;
- проблемы оценки степени воздействия транспорта на окружающую среду исследованы недостаточно, существующие подходы в основном уникальны по критерию применимости;
- недостаточно исследована проблема применимости критериев минимизации вредного воздействия на окружающую среду автомобильного транспорта при оптимизации перевозок;
- недостаточно проработана законодательная база в области охраны окружающей среды при функционировании транспортного комплекса;
- отсутствует система экономического регулирования экологически направленной деятельности автоперевозчиков;
- существующее методическое обеспечение для выбора оптимального маршрута движения основано на минимизации издержек в процессе перевозки грузов, однако не представлена адекватная экономическая оценка степени загрязнения окружающей среды при функционировании парка грузовых автомобилей.

Многие исследователи предлагают ряд обобщенных мероприятий, позволяющих снизить воздействие транспорта на окружающую среду:

- совершенствование нормативно-правовой базы для обеспечения экологической безопасности (устойчивого развития) промышленности и транспорта;
- создание экологически безопасных конструкций объектов транспорта, эксплуатационных, конструкционных, строительных материалов, технологий их производства;
- разработка ресурсосберегающих технологий защиты окружающей среды от транспортных загрязнений;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- разработка алгоритмов и технических средств мониторинга окружающей среды на транспортных объектах и прилегающих к ним территориях, методов управления транспортными потоками для увеличения пропускной способности дорожной и улично-дорожной сети в крупных городах;

- совершенствование системы управления природоохранной деятельностью на транспорте.

Таким образом, получается, что проблемы и пути их решения лежат в области рационального потребления природных ресурсов, защиты окружающей среды от негативного воздействия автотранспортного комплекса. В целях реализации вышеперечисленного подхода в условиях ограниченности технических аспектов решения проблем экологической безопасности автотранспорта для локальной территории (регион, городская агломерация, район мегаполиса, город), на основе проведенного анализа, очевидно, могут быть сформулированы следующие задачи по эффективному снижению вредного воздействия на окружающую среду региона:

- разработка математической модели взаимодействия автомобилей в потоке на основе вероятностного подхода к характеристикам транспортного потока с известными параметрами ее элементов;

- оценка энергоэкологических характеристик транспортных потоков на основе разработанной модели взаимодействия;

- совершенствование методов оптимизации автомобильных перевозок по экологическому критерию;

- оценка экономической эффективности вариантов оптимизации перевозок;

- разработка имитационной модели функционирования парка подвижного состава грузовых автомобилей и оперативного управления процессом перевозок при различных конфигурациях УДС и режимов движения;

- разработка новой тарифной политики для перевозчиков, налогообложение, штрафы и поощрения перевозчиков, для совершенствования организации и технологии процессов доставки грузов; установление налоговых льгот для предприятий, улучшающих природоохранную деятельность.

Эти, казалось бы, противоречащие требования создадут фундамент для благоприятного развития здоровой конкуренции и обеспечивают приход на рынок более высокотехнологичных унифицированных транспортных предприятий [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отраслевая дорожная методика ОДМ 218.011-98. Автомобильные дороги общего пользования. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог. Утв. приказом ФДС России № 421 от 05.11.1998.
2. Яксанов О.В., Соломенников Н.А. Экологические проблемы автомобильного транспорта и пути их решения на локальных территориях // Материалы XXXVIII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2008 год. Том I: Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2009. – 218 с.
3. Амбарцумян В.В., Носов В.Б., Тагасов В.И., Сарбаев В.И. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Научтехлитиздат, 1999. – 208 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 504.75
В.Ф. Строганов – доктор химических наук, профессор
Л.А. Давлетшина – ассистент
E-mail: svf@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ ФОРМ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВИДЕОЭКОЛОГИИ

АННОТАЦИЯ

Видеоэкология – область знания о взаимодействии человека с окружающей видимой средой. Теоретической основой является концепция об автоматии саккад. Стремительное изменение визуальной среды, появление все большего количества гомогенных и агрессивных полей вступают в противоречие с возможностями зрения. Существенным вкладом в обеспечение формирования гармоничной визуальной среды является использование новых отделочных композиционных материалов и технологий для оформления экстерьера и интерьера здания. Целенаправленный комплексный подход в развитии форм архитектурных объектов может в значительной мере нивелировать противоречия природной и искусственных сред, решая задачи видеоэкологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: видеоэкология, автоматия саккад, гомогенные и агрессивные визуальные поля, экстерьер и интерьер зданий, отделочные композиционные материалы.

V.F. Stroganov – doctor of chemical sciences, professor
L.A. Davletshina – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURAL OBJECTS FORMS FROM VIDEOECOLOGY VIEWPOINT

ABSTRACT

Videoecology is an area of knowledge about human interaction with visible environment. The idea of Saccade automation is the theoretic basis. The rapid change of the visual environment and increase of homogeneous and aggressive fields contradict visual system possibilities. Usage of new finishing composition materials and techniques for exterior and interior building decoration is a significant contribution to harmonious visual environment formation. A focused complex approach in development of architectural object forms can greatly negate natural and artificial environment contradictions, thus solving video ecology main tasks.

KEYWORDS: videoecology, saccade automation, homogeneous and aggressive visual fields, building exterior and interior, finishing composition materials.

Известно, что среда обитания, окружающая современного человека, включает в себя природную, искусственно преобразованную человеком «вторую природу», искусственно созданную человеком (третью природу), социальную сферу. Большой вклад в формирование структуры искусственной среды вносит архитектура [1].

В системе потребностей человека (биологических, психологических, этнических, социальных, трудовых, экономических) можно выделить и те, которые связаны с экологией восприятия среды обитания. Это экологически комфортное жилище, этническая природная архитектурная среда, запечатленная с детства, обеспеченность источниками информации (произведениями искусства, привлекательными ландшафтами) и другие. Экологизация биологических потребностей связана с необходимостью создания экологичной чистой городской среды и поддержания гармоничного, комфортного состояния естественной и искусственной (второй) природы в городе, но в современных больших городах, к сожалению, вряд ли можно говорить о наличии достаточного объема и качества приемлемой для каждого человека среды. Эти критерии не обеспечиваются ни визуальным простором (взгляд упирается в фасады близко расположенных высоких зданий), ни природной средой, которая вытеснена зданиями, воздвигнутыми без соблюдения указанных требований, и асфальтом.

Следует отметить, что под видимой средой понимают окружающую среду, которую человек воспринимает через орган зрения во всем ее многообразии – это лес, горы, здания, сооружения, интерьер помещений, автомашины, корабли и т.д. Всю видимую среду принято условно разделять на

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

естественную и искусственную. Естественная видимая среда находится в полном соответствии с физиологическими нормами зрения, так как природа «лепила» глаз «под себя». Совсем другое дело – искусственная среда, которая отличается от природной, а во многих случаях находится в противоречии с законами зрительного восприятия человека. Противоречия восприятия видимой среды породили еще одну проблему экологии человека – проблему ***видеоэкологии*** [2].

Рассматривая видимую среду как экологический фактор, следует обратить внимание на то, что человек как биологический вид сформировался в определенных естественных природных условиях, в которых преобладала и определенная цветовая гамма. Например, для средней географической зоны в постоянно видимом поле человека большую часть занимал зеленый цвет. Однако в процессе урбанизации происходило изменение видимой среды и в большинстве городов стал преобладать темно-серый цвет [3]. Кроме цвета, изменилась и структура самих цветовых элементов, все в большей мере стали использоваться прямые линии, прямые углы, огромное количество больших плоскостей, как правило, имеющих однородную окраску.

Происходящие количественные и качественные изменения определяют насущную необходимость срочных и осознанных действий по направленному регулированию содержания окружающей нас визуальной среды, которая превращается в экологически опасный фактор. Следствием этого является все возрастающая нагрузка на зрение человека, что вступает в противоречие с физиологическими возможностями движений глаз, в частности с явлением автоматии саккад [4]. Как показали исследования, число этих саккад при весьма различной зрительной деятельности остается практически на одном уровне – примерно одна саккада в секунду. По данным Всемирной организации здравоохранения, процессы урбанизации ведут к неуклонному росту числа психических заболеваний. Все это свидетельствует о том, что постоянная видимая среда действует так же, как и любой другой экологический фактор. При этом наиболее сильное эмоциональное воздействие на человека оказывает колористическая насыщенность городской среды [5].

В этой связи важным аспектом формирования городской среды является грамотный подход к проблеме разработки проектов по архитектурным формам ландшафтного дизайна, экстерьеру и интерьеру зданий, в том числе материалов и технологий. Неправильно выбранные строительные отделочные материалы, их фактура, цветовая палитра способствуют формированию агрессивной, гомогенной визуальных сред. Гомогенной видимой средой называется такая среда, в которой совсем отсутствуют видимые элементы или их количество резко уменьшено. Причины возникновения ее различны. Например, у людей с ослабленным зрением число видимых деталей в окружающей среде уменьшается в результате снижения различительной способности глаз, гомогенная видимая среда может возникнуть в угольных шахтах в силу специфического места работы – вокруг черный уголь; примерами гомогенной видимой среды в природе могут служить огромные снежные просторы Арктики или Антарктики, а также песчаные барханы пустынь. В условиях среды обитания человек часто сталкивается с гомогенной средой в городе, дома, на производстве и в транспорте, которые обусловлены строительными технологиями 60-70-х годов. Например, крупнопанельное домостроение в России в настоящее время составляет около 60 % объема строительства, является массовым и определяющим фактором в создании облика наших городов, который активно формирует фрагменты гомогенной визуальной среды. Такими фрагментами являются, например, бетонные торцы зданий. При взгляде на такую голую стену глазу совершенно не за что «зацепиться» после очередной саккады. Подобную ситуацию можно сравнить с ощущением, когда человек делает очередной шаг и не чувствует под ногой твердую почву, так и глаз за 3 секунды около десяти раз «проваливается» в бездну [2].

В градостроительной практике также необходимо отметить наличие необдуманных решений: незамкнутые городские пространства, которые являются аналогом гомогенной зоны; наличие больших корпусов, стоящих на значительном расстоянии друг от друга. Хотя эти градостроительные решения и могут быть частично обусловлены требованиями инсоляции, а частично – просто дешевой землей. Но факт – в таком незамкнутом пространстве человек чувствует себя неуютно. Так же, как и в гомогенной среде, здесь недостаточно элементов для фиксации зрением, т.к. объекты градостроительства находятся на достаточно большом, визуально не оформленном, расстоянии.

Визуальная среда, состоящая из большого количества одинаковых элементов, называется агрессивной средой. Примером могут служить многоэтажные здания, в которых на огромной стене рассредоточено большое число окон или на бетонной стене мелкие глазурованные квадратики. Смотреть на такие поверхности напряженно для глаз и крайне неприятно. Это происходит по той причине, что изображения, полученные правым и левым глазами, трудно «слить» в единый зрительный образ. Негативную реакцию вызывают и здания с накладными вертикальными рустами, большое число которых создает агрессивное поле по типу «тельняшки». Следствием этого является нарушение в идентификации объекта, фиксируемого в настоящий момент, возникает так называемая

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

рябь в глазах. Кроме того, уместно заметить, что в градостроительных решениях зачастую встречается наложение агрессивных полей такого типа друг на друга. Примером этого является стена с навесными рустами, находящаяся за металлической решеткой, взгляд на которую также вызывает неприятное ощущение.

Рассмотренные факты негативного зрительного восприятия связаны с эмоционально-психологическим состоянием человеческого организма. Исследованиями психологов установлено, что агрессивные поля отрицательно воздействуют на человека, они побуждают его к соответствующим действиям: как правило, в новых микрорайонах с противоестественной визуальной средой число правонарушений больше, чем в центральной части города. Хотелось бы отметить, что дома старой архитектуры насыщены множеством элементов, которые благоприятны для формирования комфортной визуальной среды. Когда взгляд останавливается на каком-либо элементе, амплитуда саккад уменьшается до минимума и происходит чередование фиксации глаз на новых элементах и предметах. Человек в это время отдыхает, ничего не рассматривая пристально, а это значит, что автоматия саккад работает в собственном режиме с предпочтительной ориентацией и интервалом [5].

Таким образом, комфортная визуальная среда (интерьер, экстерьер зданий и пр.) создает благоприятные предпосылки для проявления физиологических механизмов зрения. Совершенно очевидно, что грамотно организованная искусственная среда (в том числе городская среда) должна максимально приближаться к естественным условиям.

Как отмечено выше, одним из важных аспектов гармоничного формирования среды является условие гармонии зданий с ландшафтом – сохранение и развитие пластических свойств участка – пластической целостности и своеобразия его рельефа и зеленых форм.

А.Н. Тетиор предложил [4] несколько условий такой гармоничной связи архитектурных форм с ландшафтом, заключающихся в сохранении:

- природных «емкостей» – можно ввести в ландшафт столько новых архитектурных объемов, сколько допустимо с точки зрения сохранения размеров и конфигурации пространства;
- масштаба визуальной пространственной единицы ландшафта: учет соотношения масштабной росту человека высоты зданий и высоты зрительных барьеров;
- замкнутости визуальной единицы ландшафта;
- естественной конфигурации зрительных объектов;
- зрительных фокусов (точек, обладающих особым интересом для обзора).

Подобие форм зданий и окружающих холмов, деревьев и т.д. не только позволяет зданиям органично сливаться с ландшафтом, но и дает возможность получить неожиданные архитектурно выразительные фасады: например, здание оперы в Сиднее или построенный недавно храм в Индии в форме цветка лотоса и т.д. В свою очередь, это природоподобие архитектурных форм будет способствовать созданию благоприятной визуальной среды.

Преобразования форм архитектурных объектов можно достичь, используя некоторые способы динамической адаптации, а именно трансформацию и мобильность. Широкомасштабность сфер проявления и использования принципов динамической адаптации архитектурного пространства и формы раскрывает большие возможности обеспечения связи с окружающей природой, в частности, позволяет совершенствовать пластические способности архитектуры, приблизив ее тем самым к более естественной среде. Существенным вкладом в обеспечение формирования гармоничной визуальной среды является использование новых отделочных композиционных материалов и технологий для оформления экстерьера и интерьера здания.

Таким образом, только целенаправленный комплексный подход в развитии форм архитектурных объектов может в значительной мере нивелировать противоречия природной и искусственных сред, решая задачи видеоэкологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архитектура и экология России: традиции, современность, будущее // Сб. тезисов и докладов республиканской научной конференции (ноябрь, 1993). – Новосибирск: «Пасман Шувалов», 1993. – 225 с.
2. Филин В.А. Закономерности саккадической деятельности глазодвигательного аппарата. Автореф. дис. доктора биолог. наук. – М., 1987.
3. Губайдуллина С. Цвет как психологическая характеристика городской среды // Колористика города (материалы международного семинара). Т. 1. – М., 1990. – С. 175-181.
4. Тетиор А.Н. Здоровый город XXI века (основы архитектурно-строительной экологии). – М: РЭФИА, 1997. – 699 с.
5. Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаз хорошо, а что – плохо. – М.: Видеоэкология, 2006. – 512 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 502.55:621.4
А.В. Танеева – кандидат химических наук, доцент
E-mail: alinataneeva@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

АННОТАЦИЯ
В работе проведена оценка проблем загрязнения атмосферного воздуха в районах автомобильных дорог. Рассмотрены вопросы негативного влияния автотранспорта на окружающую среду и факторы, влияющие на этот процесс.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные дороги, загрязнение воздуха.

A.V. Taneeva – candidate of chemical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering

THE PROBLEMS OF ECOLOGICAL SAFETY OF AUTOMOBILES ROADS AND HIGHWAYS

ABSTRACT
This study characterizes the evaluation of atmospheric pollution by the automobile transport on the roads. Negative influence of motor transport on environment and the factors influencing this process is considered.
KEYWORDS: highways, pollution of air.

Как известно, история создания и развития сети автомобильных дорог непрерывно связана с окружающей природной средой. Массовая автомобилизация потребовала коренного изменения геометрических параметров автомобильных дорог, к которым относится ширина проезжей части, радиус вертикальных и горизонтальных кривых, продольных уклонов, расширения сети автомобильных дорог. Отмечается устойчивая тенденция роста численности автотранспортных средств, увеличивается число автомобильных пробок в крупных городах, что приводит к обострению экологических проблем [1-3]. Эти проблемы усугубляются из-за большого среднего возраста автотранспортных средств и низкого уровня технико-эксплуатационных показателей отечественных автомобилей. Такое положение приводит к непроизводительному расходу автомобильного топлива и, как следствие, к увеличению количества выбросов в атмосферу загрязняющих веществ [4-5].

Известно, что автомобильные дороги и автомобильный транспорт являются технологически связанными составляющими единого процесса автомобильных перевозок. Автомобильный транспорт, курсирующий по дорогам, загрязняет воздушную среду токсичными компонентами отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Часть этих веществ оседает на поверхности проезжей части, где также сорбируются продукты износа автомобильных шин и других конструктивных узлов транспортных средств. Эти продукты смываются с проезжей части и загрязняют поверхности воды и почву вдоль дороги.

Автомобильный транспорт является основным источником загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами, что негативно влияет на здоровье населения, а также приводит к гибели зеленых насаждений, загрязнению почв, водоемов, водостоков, повреждению памятников культуры, конструкций зданий и сооружений.

Основными моментами при негативном воздействии автомобильного транспорта на окружающую природную среду являются следующие [6]:

- термодинамические процессы в двигателях внутреннего сгорания;
- испарения и потери топлива, эксплутационных жидкостей лакокрасочных материалов при производстве, обслуживании и ремонте автотранспортной техники;
- износ деталей, узлов машин и механизмов, элементов транспортных средств, дорожной одежды;

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- пластическая деформация, механическая и электромеханическая обработка материалов, очистка деталей на этапах жизненных циклов объектов транспорта;

- виброакустическое излучение движущихся объектов транспорта и частей машин, а также электромагнитное излучение электрических машин и электронных устройств, используемых для управления в технологических процессах реализации жизненных циклов объектов транспорта и управления движением, а также другие виды энергетических загрязнений;

- ландшафтные нарушения в районе автомобильных дорог и транспортных магистралей.

Тепловые потоки, образующиеся при сжигании автомобильного топлива, а также в результате изменения характеристик подстилающих поверхностей, оказывают также большое влияние на параметры окружающей природной среды, к которым относится температура, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра и др. [7].

Развитие сети автомобильных дорог и резкое повышение количества автомобильного транспорта приводит к необходимости учитывать все новые и новые параметры, к которым относятся: состав транспортного потока, скоростной режим его движения, техническое состояние транспортных средств, типы двигателей внутреннего сгорания, качество автомобильного топлива и др.

Все эти факторы определяют состав поступающих в экологическую систему токсичных веществ.

Влияние автомобильного транспорта на окружающую природную среду можно представить схемой (рис. 1).

Отрицательные изменения в атмосфере связаны с тем, что в ее недрах размещаются различные транспортные и технические коммуникации и сооружения, в том числе путепроводы, стоянки автомобильного транспорта, хранилища автомобильного топлива. Экологическая обстановка усугубляется работами по преобразованию рельефа местности и ландшафта, что сопровождается деформацией земной коры, изменением геологических процессов образования полезных ископаемых, материалов, изменением фильтрационных режимов почв, а также режимов поверхностных и грунтовых вод, оседание и просадки грунтов.

Основные загрязнения приходятся на атмосферный воздух, в котором постоянно происходят химические реакции под воздействием различных факторов окружающей среды, в результате чего могут образовываться более токсичные соединения, чем исходные [8].

Рис. 1. Влияние автомобильного транспорта на окружающую природную среду

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

В таблице приведено среднее содержание приоритетных загрязнителей окружающей среды в отработанных газах автомобильных двигателей.

Таблица

Среднее содержание приоритетных загрязнителей окружающей среды в отработанных газах автомобильных двигателей

№ п/п	Компонента отработанных газов	Тип двигателя	
		Дизельные, % по массе	Бензиновые, % по массе
1	Диоксид углерода	98,6	96,6
2	Оксид углерода	0,4	2,6
3	Непредельный углеводород	0,2	0,4
4	Оксид азота	0,4	0,3
5	Диоксид серы	0,3	0,02
6	Твердые частицы	0,1	0,008
7	Альдегиды	0,05	0,02

Как видно из таблицы, бензиновые двигатели выбрасывают в атмосферный воздух большее количество оксида углерода, чем дизельные. В то же время дизельные двигатели образуют больше оксидов азота, диоксидов серы, альдегидов и твердых частиц, которые сорбируют бенз(а)пирен, обладающий канцерогенной активностью для организма человека. Кроме того, возможно образование органических веществ различной химической природы, которые оказывают сочетанное воздействие на организм человека и приводят к риску возникновения заболеваний, в том числе и тяжелых.

Очевидно, для решения проблем, связанных с экологической безопасностью автомобильных дорог и транспортных магистралей, необходимо прежде всего отработать систему экологического мониторинга автомобильных дорог, основным элементом которой должны быть аккредитованные аналитические лаборатории, оборудованные пробоотборным устройством и современной аналитической аппаратурой, что можно представить схемой, приведенной на рис. 2.

Рис. 2. Схема организации системы экологического мониторинга воздушной среды в зоне влияния автомобильных дорог и транспортных магистралей

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Как видно из рис. 2, диагностика экологического состояния воздушной среды в зоне влияния автомобильных дорог и транспортных магистралей должна проводиться на базе испытательных лабораторий, аккредитованных в системе Госстандарта России и имеющих современную аналитическую аппаратуру. В наиболее напряженных участках автомобильных дорог и транспортных магистралей должны быть установлены стационарные пробоотборные посты, с которых ежедневно пробы анализируемого воздуха должны поступать в испытательные лаборатории для детального анализа на наличие приоритетных загрязнителей окружающей среды и сравнения их со среднесуточными нормами ПДК. Информация по экологическому состоянию воздушной среды передается администрации для принятия управленческих решений по оздоровлению окружающей среды в зоне влияния автомобильных дорог и транспортных магистралей.

Таким образом, можно регулярно получать достаточно полную картину по экологическому состоянию автомобильных дорог и проводить регулирование транспортных потоков с учетом экологического фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерациив 2009 г.».
2. Немчинов М.В. Показатели экологической безопасности автомобильных дорог // 4-я Международная научно-техническая конференция «Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе». Тез. докл. – М., 2000. – С. 53-54.
3. Амбарцулян В.В., Носов В.Б., Тагасов В.И., Сарбаев В.И. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 1999. − 208 с.
4. Горбунов В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. – М: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1998. – 215 с.
5. Кулеев М.Т., Хабибуллина Э.Н. Дороги и окружающая среда. − Казань: Изд-во КГУ, 1990. – 112 с.
6. Танеева А.В., Синкевич А.В., Новиков В.Ф. Автомобильный транспорт и окружающая среда. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2009. – 96 с.
7. Лукашин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. – М.: Высшая школа, 2001. − 296 с.
8. Малышева А.Г. Закономерности трансформации органических соединений в окружающей среде // Гигиена и санитария, 1997, № 3. − С. 5-10.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

УДК 658.26:628К:504
В.Н. Семенов – кандидат технических наук, доцент
E-mail: svn@vgasu.vrn.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ В СИСТЕМЕ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Анализируются основные и дополнительные показатели экономической и экологической эффективности энергосберегающих проектов. Рассматривается потенциал энергосбережения в соотношении с затратами на его реализацию. Приводится оценка социального эффекта от реализации мероприятий по энергосбережению и анализу устойчивости энергосберегающего проекта к изменениям экономической ситуации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономическая и экологическая эффективность, энергосберегающее мероприятие; индекс доходности; оценка социальной эффективности; технология формирования и установления тарифов; демонстрационный эффект.

V.N. Semenov – candidate of technical sciences, associate professor
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

THE ANALYSIS AND ESTIMATION OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF POWER SAVING UP PROJECTS IN THE MUNICIPAL UNION LIFE-SUPPORT SYSTEM

ABSTRACT

The basic and additional indicators of economic and ecological efficiency of power saving up projects are analyzed. The power savings potential in the ratio with expenses for its realization is considered. From realization of actions for the power savings and the analysis of stability of the power saving up project the estimation of social effect is resulted in changes of an economic situation.

KEYWORDS: economic and ecological efficiency, energy saving arrangement, relative of efficiency, technologies of formation and ascertainment of rate, demonstrational's effect.

Экономическая и экологическая эффективность энергосберегающих мероприятий является дифференцированным показателем, позволяющим оценивать как внутреннюю, так и внешнюю (для потребителей и окружающей среды) целесообразность реализации тех или иных научно-технических, организационных и технологических решений, обеспечивающих, помимо экономии энергоресурсов, социальные результаты.

Определение показателей энергетической и экологической эффективности энергосберегающих проектов осуществляется на основе следующих показателей [1]:

- изучения структуры удельных затрат, в том числе бюджетных расходов и общественных издержек, на единицу энергоресурсов;
- оценки влияния мероприятий по экономии энергоресурсов на себестоимость их производства и распределения, а также на сроки окупаемости инвестиций, привлеченных для реализации этих мероприятий;
- экологического анализа последствий реализации энергосберегающих проектов;
- анализа социально-экономических факторов территории.

Удельные затраты на единицу сберегаемых минеральных и энергетических ресурсов

С экономической точки зрения основной выгодой от энергосбережения является сокращение затрат на оплату счетов за энергоносители, возникающее в результате снижения энергопотребления. Относя суммарные затраты на осуществление конкретного энергосберегающего мероприятия ($\sum З_м$) к

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

объему сберегаемого энергоресурса ($\sum Э_i$) за весь период жизни проекта, определяются удельные затраты ($З_{уд.}$) на единицу сбереженной энергии по формуле:

$$З_{уд.} = \frac{\sum З_м}{\sum Э_i} . \quad (1)$$

Период жизни энергосберегающего проекта, т.е. период времени, в течение которого достигается планируемый уровень энергосбережения и который будет считаться мерой для достижения оцениваемых макроэкономических результатов, рассчитывается, как правило, исходя из периода окупаемости затрат на реализацию проекта.

Случай, когда потребитель сокращает собственное энергопотребление на единицу поставляемых ему энергоносителей, определяется, как удельная выгода на единицу сбереженной энергии для потребителя, а значение этого показателя равно цене (тарифу) сбереженного энергоносителя. Поскольку смысл этого значения сводится к максимальной выгоде, которую можно получить от сбережения единичной энергии в случае отсутствия каких-либо финансовых затрат, то ее называют «предельной выгодой».

При отборе проектов для финансирования, в первую очередь, предпочтение отдается мероприятиям с наименьшими затратами, далее по мере их реализации наступает очередь осуществления менее рентабельных проектов, которые характеризуются большими предельными затратами. Если исходить лишь из соображений экономической эффективности в плане соотношения «затраты – выгоды», тогда рентабельный инвестиционный процесс заканчивается, когда затраты становятся меньше предельной выгоды (рис.). На рисунке графически представлены рассматриваемые затраты на энергосберегающие мероприятия [2].

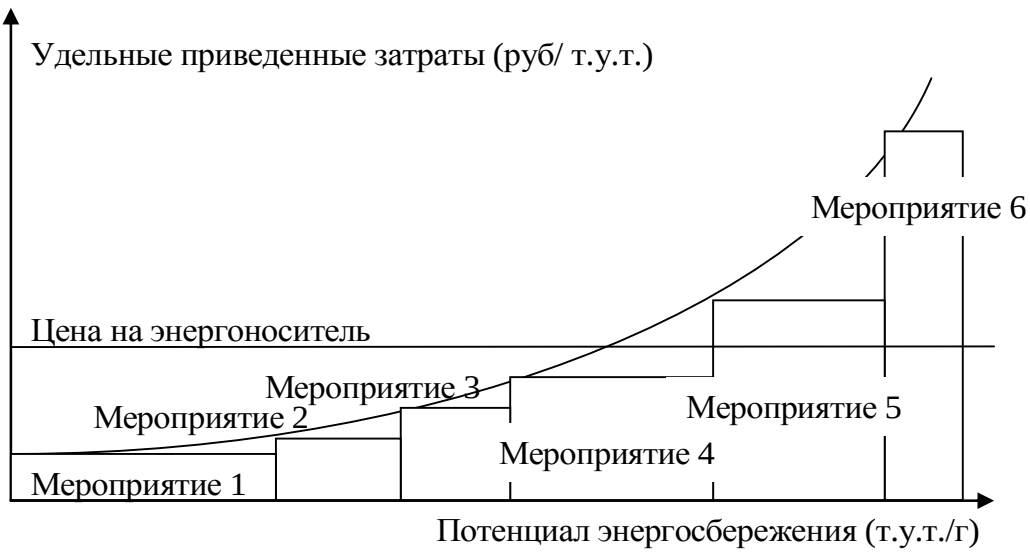


Рис. Потенциал энергосбережения в соотношении с затратами на его реализацию

Горизонтальная ось представляет собой кумулятивный объем энергии, сбереженной в результате последовательного внедрения различных мероприятий, ранжированных в порядке возрастания их предельных затрат. Ось ординат отражает предельные затраты на сбережение дополнительной единицы энергии. Горизонтальная линия соответствует максимальной выгоде от сбережения энергии – ее цене (тарифу).

До точки пересечения кривой затрат с линией максимальной выгоды финансовые затраты экономически эффективны. Отсюда все мероприятия, расположенные левее кривой, составляют экономически обоснованный потенциал в плане «затраты – выгоды». Мероприятия, расположенные правее кривой, технически осуществимы, но экономически неэффективны. Эта область мероприятий относится к высокозатратным «экологическим» проектам энергосбережения.

Правильный подход к использованию данного экономического критерия требует учета дисконтирования затрат и выгод, т.е. отнесения их ценности к одинаковому моменту времени.

Экономическая эффективность мероприятий должна рассматриваться не только в проекции частных «затрат – выгод», а также в свете расходов на их осуществление с точки зрения

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

государственного бюджета и общественной значимости использования обязательных или побудительных мер.

Иными словами, идет ли речь к примеру об энергосбережении тепла в жилых помещениях, создающего комфортные условия проживания, или о коммунальном предприятии, нуждающемся в тепловой энергии для производства горячей воды, во всех случаях одним из важнейших вопросов является удовлетворение требований эффективности. Это означает, что достижение поставленной цели, например, выработка необходимого количества тепла для обогрева жилых помещений, должна сопровождаться как можно меньшими издержками производства, которые, в свою очередь, определяют величину тарифа на коммунальные услуги (горячую воду и тепло) [3].

Отдельные составляющие издержек производства, так же, как капитальные затраты, затраты труда и энергии, должны формироваться таким образом, чтобы более дорогие составляющие издержек использовались в гораздо меньших количествах, по отношению к более дешевым, то есть поставленных целей энергосбережения необходимо добиваться с минимальными затратами.

Иными словами, речь должна идти о соотношения общественного блага и общественных издержек, требуемых для осуществления возможного проекта энергосбережения. Оценка бюджетной эффективности энергосберегающего мероприятия должна отражать финансовые последствия осуществления проекта для бюджета.

Поскольку сравнения энергосберегающих мероприятий могут проводиться в течение относительно длительных периодов, изменения в ценах на энергоносители могут быть значительными, поэтому этот фактор должен обязательно учитываться в расчетах.

При этом в качестве дополнительных могут использоваться и другие показатели:

• индекс доходности (ИД) является отношением приведенных выгод к приведенным капитальным вложениям. Существует несколько вариантов этого соотношения. Наиболее часто используется простое отношение всех приведенных выгод ко всем приведенным затратам без учета знака этих величин. Отношение больше единицы указывает на эффективность энергосберегающего мероприятия, так как это отношение просто означает, что ЧПД положителен. Проекты, характеризующиеся более высоким ИД, эффективнее, чем проекты с меньшим значением индекса доходности;

• критерий наименьших расходов (или минимума затрат) обычно используют тогда, когда оценка выгод от внедрения мероприятия затруднена или ненадежна. В этом случае сравниваются расходы по различным вариантам и останавливаются на варианте, который при наименьших расходах обеспечивает наибольшие результаты. При фиксированном значении выгод от мероприятия критерий минимума затрат соответствует критерию максимума ЧПД. Однако, критерий наименьших расходов обычно не используется в качестве единственного при выборе мероприятия. Применение критериев минимума затрат при выборе среди конкурирующих планов реализации мероприятий необходимо дополнять информацией, гарантирующей осуществимость проекта.

Экологический анализ последствий реализации энергосберегающих мероприятий

Растущая важность проблемы охраны окружающей среды и существенная роль в этом повышения эффективности использования энергии означают, что количественная экономическая оценка мероприятия должна сопровождаться оценкой его влияния на окружающую среду. В настоящее время эта оценка обычно ограничивается учетом загрязнения воздуха, она основывается на данных по показателям выбросов таких загрязнителей, как SO_2, NO_x, CO_2, летучая зола и шлак [1].

Оценка мероприятия по энергосбережению дополняется оценкой эффекта, достигаемого за счет уменьшения выброса загрязняющих веществ, обеспеченного благодаря снижению потребления энергии на основе следующей информации [1]:

• о состоянии природной среды, где будет осуществляться энергосберегающий проект, и планируемых мероприятиях по обеспечению требуемых экологических норм;

• о результатах проверок и оценок экологической ситуации;

• о предлагаемых мерах контроля состояния окружающей среды;

• об ожидаемом влиянии проекта энергосбережения на экологию;

• об обязательствах по охране окружающей среды, которые должны быть выполнены в случае реализации проекта.

Задачей экологического анализа является оценка потенциального ущерба окружающей среде во время осуществления мероприятия и определение усилий, необходимых для смягчения или предотвращения этого ущерба. Используемые в этом анализе экологические критерии должны учитывать:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

• существующие экологические условия;

• потенциальные экологические воздействия энергосберегающего мероприятия (положительные и/или отрицательные, прямые и косвенные);

• возможные меры по устранению или снижению отрицательных экологических последствий и/или их компенсации.

Критерий экологической эффективности использования энергии характеризует потенциальную выгоду, которая при уменьшении потребляемых энергоресурсов или воды возникает в плане снижения негативных воздействий на окружающую среду. Количественная оценка данного критерия зависит от применяемых расчетных методик.

Оценка социального эффекта от реализации мероприятий по энергоресурсосбережению

Целью оценки социального эффекта от реализации программ энергоресурсосбережения является определение приемлемости данного мероприятия для населения, проживающего в районе реализации проекта. Здесь необходимо рассмотреть возможную реакцию общественного мнения на осуществление мероприятия и воздействие его на уровень занятости.

Необходимо также учитывать ресурсные возможности территории, степень социальной нестабильности, состояние инфраструктуры (коммуникации, банковское обслуживание) и другие факторы. В результате проведения социального анализа реализации проекта по энергосбережению необходимо определить [4]:

• форму участия населения в обсуждении и реализации проекта;

• ожидаемое влияние проекта на потребителей энергоресурсов и воды;

• ожидаемое уменьшение/увеличение расходов потребителей на оплату жилищно-коммунальных услуг.

Целесообразно также проанализировать демонстрационный эффект реализуемых мероприятий по энергоресурсосбережению.

Некоторые программы могут удовлетворять одновременно нескольким критериям. Например, энергосберегающие действия в адрес малоимущих слоев населения могут рассматриваться как оказание им социальной помощи, поскольку позволяют уменьшить счета за энергоносители и тем самым поднять их покупательную способность.

Анализ устойчивости проекта к изменениям экономической ситуации

К факторам, влияющим на изменение экономической ситуации при реализации энергосберегающего проекта относятся налоговая и кредитная политика, инфляционные изменения, тарифная политика на ЖКУ, график реализации проекта и ряд других.

График реализации проекта разрабатывается для моделирования функционирования объекта энергосбережения по годам с момента начала внедрения энергосберегающих мероприятий до конца периода эксплуатации энергообъекта. Разновременные экономические показатели приводятся к единому моменту времени, в качестве которого принимается момент, соответствующий началу первого шага (года) расчета. Дисконтирование показателя, относящегося к первому шагу (году), осуществляется путем умножения его текущего значения на величину коэффициента дисконтирования. Коэффициент дисконтирования позволяет привести в сопоставимый все затраты и выгоды во временном разрезе.

Информация о системе налогообложения должна включать, прежде всего, возможно более полный перечень налогов. Особое значение должно быть уделено налогам, регулируемым региональным законодательством (налоги субъектов Федерации и местные налоги). По каждому виду налогов приводятся сведения о базе налогообложения, ставках налога, периодичности выплат налога (сроки уплаты), льготах по налогу.

Учет современной тарифной политики на тепло, электроэнергию, воду и другие коммунальные услуги экономически оправдан и необходим ввиду того, что является одним из стимулирующих факторов проведения энергосберегающих мероприятий.

Основой расчетов по обоснованию и регулированию тарифов в ЖКС является учет экономически и технологически оправданных затрат на производство той или иной ЖКУ. Тариф, как правило, равен сумме затрат (З) и нормативной прибыли (П) [5]:

$$Ц = З + П. \quad (2)$$

Такая технология формирования и установления тарифов, с одной стороны, препятствует их необоснованному монопольному увеличению, но, с другой, не способствует снижению затрат, экономии, энергосбережению.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Кроме того, на практике ставка тарифа определяется на основе нормативных отраслевых стандартов, из-за чего величина тарифа не покрывает фактические производственные затраты организаций коммунального комплекса.

Однако мотивация для снижения затрат и снижения цены на энергоресурсы должна создаваться. Это возможно только при наличии здоровой конкуренции и при ином подходе к установлению тарифов. Тарифная политика должна поощрять экономию. Тарифы не могут быть снижены на сумму уменьшения расходов энергоресурсов в результате реализации мероприятий энергосбережения, что происходит сейчас. Снижение цены должно происходить за счет конкуренции.

Структура тарифа по каждому виду коммунального энергоресурса может быть как одноставочной, так и многоставочной, как унифицированной, так и не унифицированной. При одноставочной системе тарифов расчеты его величины, как уже отмечалось, основаны на упрощенной процедуре, при которой все статьи затрат агрегируются в одной цифре (суммируются). Многоуровневая система использует более сложную классификацию статей затрат, уровни тарифов соответствуют уровням сложности категорий затрат.

Унифицированная схема подразумевает единую ставку тарифа для всех групп потребителей, в то время как не унифицированная схема позволяет использование различных ставок для различных групп потребителей.

Органы, осуществляющие тарифное регулирование могут четко определять виды тарифов, предназначенные для достижения каких-либо определенных целей.

Например, для побуждения сбережения ресурсов (воды) тариф для населения может быть установлен таким образом, что потребление, превышающее определенный приемлемый уровень, будет оплачиваться по более высокому тарифу.

Учет сложившейся на территории тарифной политики на энергоресурсы и ЖКУ служит важным элементом объективной оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов Э.В., Семёнов В.Н. Экология городской застройки. – Воронеж, 2009.
2. Широков А.В. Энергосбережению нужна эффективная законодательная поддержка // Энергосбережение, 2008, № 4. – С. 16-23.
3. Сандурский С.В. Методы стимулирования энергосбережения // Энергосбережение, 2006, № 6. – С. 22-23.
4. Нотенко С.Н. и др. Техническая эксплуатация жилых зданий / Под общей редакцией Ремшина В.И. и Стрежикова А.М. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 638 с.
5. Методика планирования, учета и калькулирования себестоимости услуг жилищно-коммунального хозяйства: постановление Госстроя России от 23.02.1999 № 9 // «Нормирование в строительстве и ЖКХ», 1999, № 3.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com